



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**VLIV MODIFIKUJÍCÍCH PŘÍRAD NA DOSAHOVANÉ
VLASTNOSTI ANHYDRITOVÝCH MALTOVIN**

INFLUENCE OF MODIFYING ADDITIVES ON ACHIEVED PROPERTIES OF ANHYDRITE
BINDERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Zuzana Ciencialová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DOMINIK GAZDIČ, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Zuzana Ciencialová
Název	Vliv modifikujících přísad na dosahované vlastnosti anhydritových maltovin
Vedoucí práce	Ing. Dominik Gazdič, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2016
Datum odevzdání	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Online databáze Science Direct, Elsevier, Thomson Reuters, Scopus.

APLEYARD, FRANK C. Gypsum and Anhydrite, Industrial Minerals and Rocks – 5th Edition.

BAYER, G., WIEDEMANN, H. G. Displacement reaction in gypsum and in anhydrite, Science Direct
- Thermochemica Acta

Moore, W. J.: Fyzikální chemie, SNTL 1979

BISHOP, J. L., LANE M. D., et al Properties of Ca-sulfates: Gypsum, Bassanite and Anhydrite, American Mineralogist, September, 2013

T. SIEVERT, A. WOLTER, N.B. SINGH, Hydration of anhydrite of gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) in a ball mill, Cement and concrete research, February, 2004, Pages 623–630

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je sledování vlivu vybraných modifikujících přísad na dosahované technologické vlastnosti anhydritových maltovin. Práce navazuje na výsledky výzkumu na ÚTHD.

V rámci teoretické části provedte:

- rešerši dosažených výsledků na ústavu THD,
- studium dostupné literatury na dané téma (surovinové zdroje, typy budičů a modifikujících přísad, technologické vlastnosti, normativní požadavky, aplikační vlastnosti, způsoby použití, aj.)

V rámci experimentální části práce proveďte:

- návrh složení anhydritových směsí s přídavkem vybraných modifikujících přísad (plastifikační, odpěňovací, provzdušňující, retenční, aj.),
- laboratorní zkoušky dle normových požadavků – technické požadavky na pojiva (CAB) a průmyslově vyráběné maltové směsi (CA),
- případnou optimalizaci dávkování na základě dosažených výsledků,
- vyhodnocení a vzájemné porovnání dosažených výsledků, srovnání s komerčně vyráběnými směsí,
- doporučení pro další výzkum v dané oblasti.

Rozsah práce cca 80 stran formátu A4 včetně příloh.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Dominik Gazdič, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Tato diplomová práce řeší vliv modifikujících přísad na dosahované vlastnosti anhydritových maltovin. V první části je zpracována teorie týkající se anhydritových pojiv. Druhá část se věnuje litým anhydritovým podlahovým potěrům a jejich normovým požadavkům.

Součástí práce je také experimentální část, ve které jsou porovnávány technologické vlastnosti anhydritových past a malt modifikovaných plastifikačními přísadami. Pozorován byl vliv přísad na hodnotu vodního součinitele a konečné pevnosti směsí.

Klíčová slova

Sádrovec, anhydritové pojivo, plastifikační přísada, budící přísada, lité anhydritové podlahy

Abstract

This diploma thesis deals with influence of modifying additives on achieved properties of anhydrite binders. The first part is focused on fundamentals of anhydrite binders. The second part introduces anhydrite under-layments and their standard requirements.

The experimental part is dedicated to anhydrite binders modified by plasticizers, while their final properties are compared.

Keywords

Gypsum, anhydrite binder, plasticizer, exciter, self-leveling compound

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Zuzana Ciencialová *Vliv modifikujících přísad na dosahované vlastnosti anhydritových maltovin*. Brno, 2016. 79 s., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Dominik Gazdič, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2017

Bc. Zuzana Cencialová
autor práce

Poděkování

Tato diplomová práce byla zpracována s využitím infrastruktury Centra AdMaS.

Ráda bych poděkovala panu Ing. Dominiku Gazdičovi, Ph.D. za odborné vedení a pomoc při zpracování této diplomové práce. Chtěla bych poděkovat také všem ostatním členům ÚTHD, kteří mi byli během této práce nápomocni a vždy mi vyšli vstříc.

Obsah

ÚVOD	10
I. TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ANHYDRITOVÉ MALTOVINY	11
2 SUROVINOVÉ ZDROJE	11
2.1 Anhydrit	11
2.2 Sádrovec	12
3 ENERGOSÁDROVEC	15
3.1 Suchá odsiřovací metoda	16
3.1.1 Suchá aditivní vápencová metoda	16
3.1.2 Fluidní spalování s aditivou	17
3.2 Polosuchá odsiřovací metoda	17
3.3 Mokrý vápencový výpírka	18
3.3.1 Princip	18
3.3.2 Technologický proces mokrého odsiřování	19
4 DEHYDRATAČE SÁDROVCE	20
4.1 Přehled jednotlivých produktů dehydratace	21
4.1.1 Hemihydrát síranu vápenatého	21
4.1.2 α -hemihydrát (α -sádra)	22
4.1.3 β -hemihydrát (β -sádra)	22
4.1.4 Anhydrit	23
4.1.5 CaSO_4 III	23
4.1.6 CaSO_4 II	23
4.1.7 CaSO_4 I	24
5 HYDRATAČE ANHYDRITU	24
5.1 Mechanismus tuhnutí a tvrdnutí anhydritového pojiva	26
6 AKTIVÁTORY HYDRATAČE ANHYDRITU	26
6.1 Síranové budiče	28
6.2 Zásadité budiče	29
6.3 Směsné budiče	29
7 PŘÍSADY	29

7.1	Plastifikační přísady	30
8	LITÉ ANHYDRITOVÉ POTĚRY	30
8.1	Použití	31
8.2	Aplikační a technologické vlastnosti	31
8.2.1	Provádění dilatace	31
8.2.2	Pokládka	32
8.2.3	Vysychání a ošetřování	32
8.3	Sintrová vrstva	33
8.4	Anhydritový potěr v praxi	34
9	NORMATIVNÍ POŽADAVKY	36
9.1	Požadavky na pojiva CAB a CAC	36
9.2	Požadavky na průmyslově vyráběné maltové směsi CA	37
10	REŠERŠE PRACÍ ZABÝVAJÍCÍCH SE ANHYDRITOVÝMI POJIVY	39
II.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	40
11	METODIKA	40
12	POSTUP PRÁCE	41
12.1	ETAPA I: Zkoušky prováděné na anhydritových pastách	41
12.2	ETAPA II: Zkoušky prováděné na anhydritových maltách	42
12.3	ETAPA III: Zkušební odliv vybraného anhydritového potěru	43
13	POSTUPY ZKOUŠEK	44
13.1	Zkoušení čerstvých směsí	44
13.2	Zkoušení zatvrdlých směsí	47
14	POUŽITÉ PŘÍSTROJE	48
15	POUŽITÉ SUROVINY	49
16	VYHODNOCENÍ	51
16.1	ETAPA I: Zkoušky prováděné na anhydritových pastách	51
16.2	ETAPA II: Zkoušky prováděné na anhydritových maltách	60
16.3	ETAPA III: Zkušební odliv vybraného anhydritového potěru	71
17	DISKUZE	73
18	ZÁVĚR	75

ÚVOD

Anhydritové maltové směsi jsou směsí anhydritu, jakožto pojivé složky, dále plniva, vody a většinou také modifikujících přísad. Anhydrity jsou síranová pojiva, vznikající v přírodě ve formě minerálu anhydritu, anebo uměle vyráběna výpalem ze sádrovce. V minulosti nebyla výroba stavebních materiálů na bázi síranových pojiv velmi rozšířena. Důvodem byl především nedostatek surovinových zdrojů. Sádrovec ovšem vzniká také jako druhotná surovina při průmyslové výrobě, a to je v dnešní době podnětem k jeho většímu využití. Druhotné sádrovce, tzv. energosádrovce jsou základní surovinou pro výrobu anhydritových litých podlahových směsí, kterými se bude tato práce dále zabývat, ale také např. pro výrobu sádrokartonových desek či omítkových směsí. Anhydrit jako pojivo do podlahových směsí se v ČR nevyrábí, pro tyto účely je k nám dovážen převážně z Německa. Energosádrovec zpracováváný v ČR je využíván k výrobě sádrokartonů apod.

V současné době jsou tekuté maltové podlahové směsi na bázi síranu vápenatého běžně prováděny v mnoha nových stavebních projektech. Voleny jsou mimo jiné pro nenáročnost provádění a konečné vlastnosti jako je vysoká tepelná vodivost, rovinatost či fakt, že se tyto potěry nevyztužují a není potřeba dilatačních spár.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ANHYDRITOVÉ MALTOVINY

Anhydrity řadíme společně se sádrou mezi tzv. síranová pojiva. Tato pojiva jsou zástupci vzdušných (nehydraulických) maltovin. Pro vzdušné maltoviny je charakteristická schopnost tuhnout, tvrdnout a nabývat pevnosti a následně být dostatečně stabilní pouze na vzduchu. Anhydritové maltoviny se vyrábí jemným rozemletím přírodního nebo nerozpustného anhydritu II (CaSO_4). Anhydrit II se získává výpalem přírodního sádrovce ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) na 500 až 750 °C, nebo syntetického anhydritu II, který odpadá při chemické výrobě a budicích přísad, které umožňují reakci pojiva s vodou v kratším čase. Anhydritové pojivo nelze míchat s vápnem ani s cementem. Cement můžeme přidávat pouze v malém množství, a to jako budič reakce. [1] [2]

2 SUROVINOVÉ ZDROJE

Anhydrit a sádrovec jsou nesilikátové nerostné suroviny, které se v přírodě vyskytují vždy společně a řadí se mezi tzv. solné sedimenty. Anhydrit neboli síran vápenatý s chemickým vzorcem CaSO_4 , je kosočtverečný minerál, který na rozdíl od jednoklonného sádrovce, neboli dihydrátu síranu vápenatého s chemickým vzorcem $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, neobsahuje vodu.

2.1 Anhydrit

Bezvodý přírodní anhydrit CaSO_4 vzniká ze sádrovce působením vysokých teplot a tlaků, často za působení chloridu sodného. Chemicky čistý anhydrit má objemovou hmotnost 2800 až 3000 kg/m^3 , tvrdost 3,5 dle Mohse a jeho barva je bílá, má skelný až perleťový lesk a lasturnatý lom. Je stálý do teploty 800 °C a jeho rozpustnost ve vodě je menší než rozpustnost sádrovce. Anhydritové krystaly se vyskytují přibližně ve 40 formách, např. vláknité, kuličkovité, jemně zrnité až celistvé agregáty (pseudomorfozy). Tvar krystalů anhydritu jsou prizmatické tabulky (rýhované plochy) a dvojčatí. Zabarvení anhydritu do světlých odstínů modré, hnědé, červené a šedé je pak způsobeno nečistotami. Přírodní ložiska jsou často kontaminována sádrovcem, vápencem, chloritem a pyritem. Čistota anhydritu se pohybuje v rozmezí 85 až 93 %, přičemž složení 100% čistého anhydritu je následující:

41,13 % CaO; 58,37 % SO₃; 0,17 % CO₂ a 0,02 FeS₂. [3] [4]



Obr.1: Krystal přírodního anhydritu

2.2 Sádrovec

Sádrovec je jeden z nejdůležitějších nerostů ze skupiny síranů. Vzniká postupným odpařováním mořské vody slaných jezer a v mělkých zálivech. Sádrovec vzniká okolo přelomu prvohor a druhohor a ve třetihorách společně s halitem (solí kamennou).

Chemický čistý sádrovec CaSO₄·2H₂O obsahuje 20,9 % chemicky vázané vody, 46,50 % CaO, 32,57 % SO₃. V praxi čistota přírodního sádrovce dosahuje 75 %. Objemovou hmotnost má přibližně 2300 kg/m³, tvrdost 1,5 – 2 dle Mohsovy stupnice tvrdosti podle směru namáhání. Rozpustnost ve vodě je 0,20 % hmotnosti při teplotě 18 °C a 0,17 % hmotnosti při teplotě 100 °C. Běžně je bílý nebo bezbarvý, může se však objevovat také ve žlutém, oranžovém či hnědém zbarvení, pokud obsahuje usazeniny. Šedá barva signalizuje přítomnost částic jílu. Z morfologického hlediska je známo asi 70 tvarů krystalů, nejrozšířenějšími jsou tabulky, prizmatické, jehličkovité a čočkovité tvary. Častý je také tvar dvojčatí neboli vlaštovčí ocasy. V přírodě se sádrovec vyskytuje se ve čtyřech odrůdách, rozlišujeme Alabastr (jemnozrný), Selenit, Mariánské sklo (průhledné) a Saharskou růži. [1] [3]



Obr.2: Saharská růže



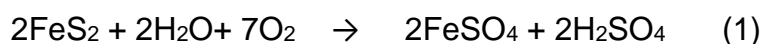
Obr.3: Selenit

Rozlišujeme sádrovec přírodní a průmyslově vyrobený.

Vznik přírodního sádrovce

Primární - vzniká jako sedimentární hornina po evaporaci (celkovém výparu) vnitrozemských moří a lagun často spolu s anhydritem CaSO_4 .

Sekundární - vzniká rozkladem pyritu na kyselinu sírovou a síran železnatý za přítomnosti vody. Kyselina sírová reaguje s vápencem ve vodném prostředí za vzniku sádrovce. Při nedostatku vody vykrytalizuje anhydrit II. [1]



Ložiska přírodního sádrovce:

V ČR se nachází pouze jedno ložisko přírodního sádrovce, a to v Koběřicích u Opavy. Jediným těžitelem a zpracovatelem sádrovce z tohoto ložiska je firma GYPSTREND s.r.o. Vytěžený sádrovec je buďto drcen, homogenizován a následně použit jako regulátor tuhnutí v cementárnách v Česku i Slovensku, nebo se kalcinací zpracovává na sádrové pojivo. [5]

V sousedních státech ČR se ložiska přírodního sádrovce vyskytují na následujících lokacích: Slovenská republika - Zlatá Baňa, Banská Štiavnica, Novoveská Huta (alabastr), Spižská Nová Ves (s obsahem 10 – 15 % anhydritu II) Vlkanová u Zvolena (mariánské sklo); Polsko – Wieliczka a Bochnia ; SRN – Strassfurt, Mainz, Braunschweig ; Rakousko – Salzburg. [6]

Vznik průmyslově vyrobeného sádrovce

Uměle vyráběný sádrovec vzniká jako vedlejší produkt v chemickém, potravinářském nebo sklářském průmyslu. Takto vzniklý sádrovec označujeme jako chemosádrovec. (např. při výrobě fosfátových hnojiv nebo kyseliny fosforečné.)

Další formou je tzv. energosádrovec, vznikající při odsiřování spalin v tepelných elektrárnách a teplárnách.

Produkce průmyslově vyráběných sádrovců v ČR:

Titanosádrovec

- Vzniká při výrobě titanové běloby z ilmenitu FeTiO_2 , získává se neutralizací vyčleněných odpadních vod z výroby titanové běloby vodnou suspenzí jemně mletého vápence, následně je provedena jeho separace na odstředivkách a jsou vymyty doprovodné ve vodě rozpustné soli. [7]
 - Výrobou se u nás zabývá závod Precheza Přerov, která dodává titanosádrovec ve dvou formách:
 - Pregips – velmi čistý, nehořlavý, netoxický sádrovec. Jeho barva je bílá díky dvoustupňovému čištění a roční produkce je více než 120 000 tun. Je využíván jako přísada do cementu, k výrobě sádry a sádrových pojiv.
 - Prestab – jednostupňové čištěný, finální barva sádrovce je červená.
- [7]

Fosfosádrovec

- Vzniká reakcí mezi kyselinou sírovou a fosforečnany při výrobě kyseliny fosforečné. Výroba kyseliny fosforečné extrakční cestou dává za vznik sádrovci bílé barvy s vysokou čistotou.
- Výrobou se u nás zabývala společnost Fosfa Poštorná. Hlavní surovinou byl flouroapatit dovážený z Ruska. Produkovaný sádrovec obsahoval více než

1, 7 % P_2O_5 , což mělo retardační účinky na tuhnutí a tvrdnutí anhydritové maltoviny. Technologie výroby sádrovce byla z extrakční cesty změněna na cestu termickou, a proto v současné době ve společnosti Fosfa k jeho výrobě nedochází. [8] [9]

Energosádrovec

- Energosádrovec vzniká při odsiřování spalin při spalování uhlí a podrobně budou procesy jeho vzniku popsány v následující kapitole. V porovnání s ostatními průmyslově vyráběnými sádrovci je jeho produkce vyšší. Množství produkovaného energosádrovce je závislé na kvalitě uhlí a množství vyráběné elektřiny.
- Hlavním výrobcem elektřiny v uhelných elektrárnách se u nás zabývá firma Čez, ta má na území ČR celkem 10 uhelných elektráren:

Dětmarovice, Hododnín, Ledvice, Mělník, Počerady, Pořící a Dvůr Králové, Prunéřov, Trmice, Tušimice, Vítkovice. [10] [11]

3 ENERGOSÁDROVEC

Energosádrovec je dihydrát síranu vápenatého s chemickým vzorcem $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Vyznačuje se svou dobrou využitelností, dokáže plně nahradit přírodní sádrovec a je navíc mnohem čistší. Zpravidla je zde obsah sádrovce větší než 90 %, a to až 98 %. Zrna energosádrovce se od přírodní suroviny odlišují menší velikostí a vyšší vlhkostí.

Energosádrovec vzniká při odsiřování spalin v uhelných elektrárnách. Proto bývá také označován zkratkou FGD, která je odvozena od anglického výrazu flue gas desulfurization (v překladu: desulfatace spalin). Zjednodušeně je odsiřování spalin proces, kde jemně mletý těžký vápenec tvoří společně s vodou suspenzi, která na sebe váže oxidy síry za vzniku energosádrovce.

V současné době jsou ve světě používány různé typy odsiřovacích metod, z nichž je nejvíce zastoupena oblast, která používá jako reakční činidlo minerál vápenec $CaCO_3$, případně vápno $Ca(OH)_2$. Výhodou vápna či vápence je, že se jedná o běžně dostupné suroviny. Navíc vápenec se v porovnání s ostatními činidly vyznačuje jak dobrou dostupností, tak nejprůběžnější cenou. [10] [11] [12]

K odsiřování spalin jsou využívány tři základní metody:

- Suchá odsiřovací metoda - suchá aditivní vápencová metoda
 - fluidní spalování s aditivu
- Polosuchá odsiřovací metoda
- Mokrý odsiřovací metoda (vápencová vypírka) [12]

Pozn.: V praxi je nejvyžívanější mokrý vápencová vypírka.

3.1 Suchá odsiřovací metoda

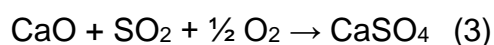
Odsíření spalin suchou vápencovou metodou může být provedeno dvěma způsoby. Buď je aditivum přidáno přímo do kotle, nebo ve fluidní vrstvě dojde k odstranění ve spalinách.

Účinnost obou metod je závislá na dodržení vhodné teploty, na přebytku aditiva, dostatečné době jeho setrvání, dobrém promísení se spalinami, jeho dostatečně jemném mletí (hrubé mletí snižuje povrch zrn, příliš jemné přináší riziko úniku malých zrn a kratší dobu setrvání).

Výhodou suché metody je jednoduchost, snadná instalace a nízká jak investiční, tak provozní náročnost. Mezi nevýhody pak patří nízká účinnost, velké množství přidávaného aditiva a jeho malé využití. Dále zatěžování kotle a odlučovače a značné množství nevyužitelného produktu. Dnes nejsou suché metody příliš využívány, uplatňují se hlavně pro menší zdroje nebo jako první stupeň v kombinaci s mokrou vápencovou vypírkou. [12] [13] [14]

3.1.1 Suchá aditivní vápencová metoda

Principem této metody je nástřik aditiva (suchého činidla) do ohniště, konkrétně nad zónu plamene. Jako aditivum je vzhledem k ceně nejčastěji používán jemně mletý vápenec (uhličitan vápenatý CaCO_3) o velikosti zrna 60 mikrometrů, dále je používán dolomitický vápenec ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), lze také použít přímo pálené vápno (CaO). Nejprve dochází ke kalcinaci vápence, vzniklý oxid vápenatý pak reaguje s oxidem siřičitým za vzniku siřičitanu vápenatého, který se dále oxiduje na síran vápenatý. Reakce probíhají v rozmezí teplot 800 až 1 100 °C a můžeme je zapsat souhrnou reakcí:



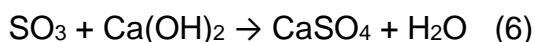
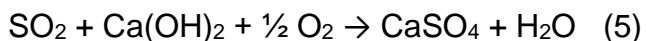
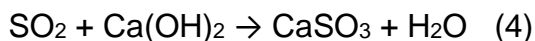
Energosádrovec je následně spolu s popílkem vylučován v elektrostatických odlučovačích. [12] [14]

3.1.2 Fluidní spalování s aditivu

Při fluidním spalování pracujeme s práškovým uhlím. Fluidní vrstva vytváří vhodné podmínky pro rovnoměrné hoření paliva s aditivem v celém svém objemu. Je tedy zajištěno dokonalejší vyhoření při nižších teplotách. Potřebná teplota pro kalcinaci a další reakce je tedy nižší a to okolo 850 °C. Díky tomu vzniká méně sloučenin s dusíkem, což považujeme za velký klad fluidního spalování. Reakce mohou probíhat za normálních podmínek či zvýšeném tlaku nebo zvýšené teploty. [12] [13]

3.2 Polosuchá odsiřovací metoda

Principem polosuché metody, nazývané též mokrosuché, je nástřik vodní suspenze hydroxidu vápenatého $\text{Ca}(\text{OH})_2$ do odsiřovacího reaktoru (rozprašovací sušárna), kde dochází k adiabatickému odpařování vody a ochlazení spalin na teplotu o 10 až 20 °C nižší, než je odpovídající tabelovaná adiabatická teplota. Jako aditivum je zde používáno pálené vápno CaO , které je hašeno v hasících linkách za vzniku $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Následně hydroxid vápenatý reaguje dle těchto základních rovnic:



Mezi výhody řadíme přeměnu kyselin chlorovodíkové a fluorovodíkové na chloridy. Další výhody představují menší investiční náklady ve srovnání s mokrou metodou, provoz nad teplotou rosného bodu, to znamená menší dohřev spalin, malé riziko koroze materiálů a produkt v suchém stavu. Oproti tomu velkou nevýhodou je málo využitelný produkt, vysoké provozní náklady, vyšší spotřeba aditiva k dosažení požadované účinnosti. V České republice se s polosuchou metodou můžeme setkat například v elektrárně Ledvice nebo teplárně Otrokovice.

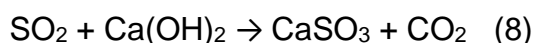
Polosuchá metoda je vhodná pro menší a střední zdroje při spalování kvalitnějšího paliva s nižším obsahem síry. [12] [13] [15]

3.3 Mokrá vápencová vypírka

V současné době je mokrá vápencová vypírka nejužívanější metodou při odsiřování spalin z velkých zdrojů. Existuje celá řada zařízení aplikující tuto metodu, která se od sebe mohou značně lišit.

3.3.1 Princip

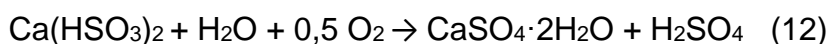
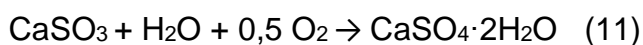
Odsiřování je vypírání oxidů síry, především SO_2 , které se nachází ve spalinách, vodní suspenzí vápence CaCO_3 nebo vodní suspenzí vápna Ca(OH)_2 . K přípravě vápencové suspenze se používá vápenec s obsahem uhličitanu vápenatého CaCO_3 90 až 95 %. [12] [19]



Procesem vypírání vzniká roztok hydrogensířičitanu vápenatého $\text{Ca(HSO}_3\text{)}_2$, která po reakci s vápencem přechází na siřičitan vápenatý CaSO_3 .



Následně dochází v odsiřovacím reaktoru k oxidaci hydrogensířičitanu vápenatého $\text{Ca(HSO}_3\text{)}_2$, kde tímto získáváme právě energosádrovec $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Pro žádoucí průběh reakce je nutné ve vodní suspenzi odsiřovacího zařízení udržovat kyselé prostředí s hodnotou pH v rozmezí 5 až 6 pomocí pufrů. Nižší hodnota pH zvyšuje možnost tvorby úsad. [12] [19]



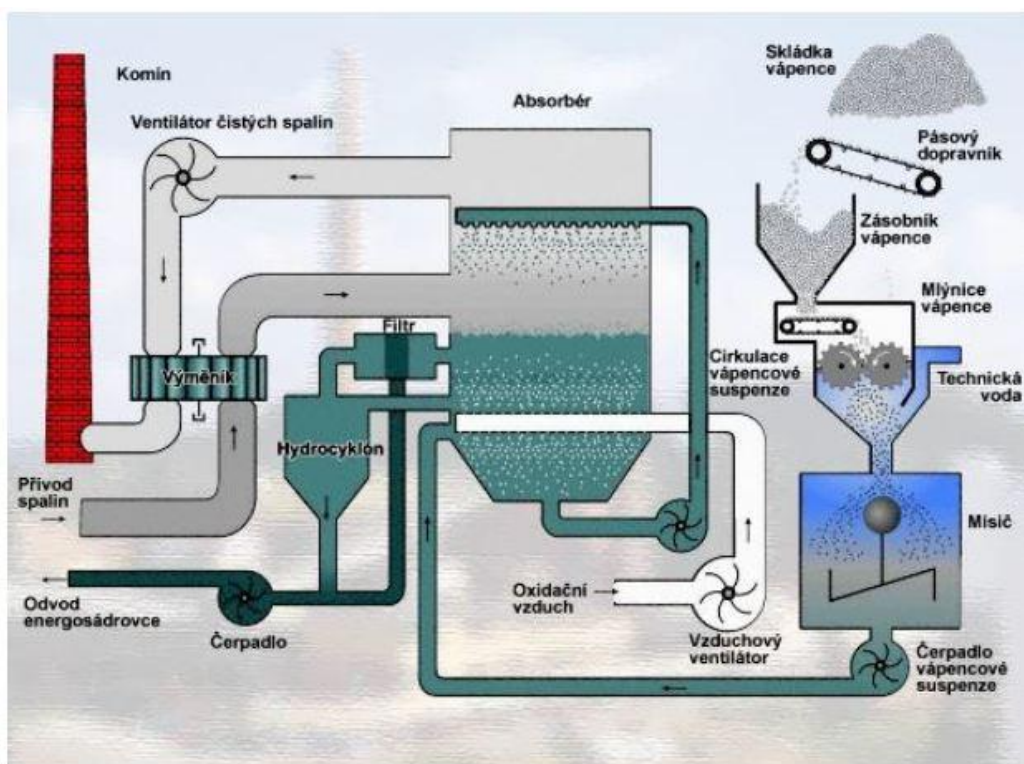
Sumární rovnice pro tyto procesy lze zapsat následovně:



V odsiřovací jímce je tedy suspenze, která obsahuje směs mletého vápence, siřičitanu vápenatého CaSO_3 a přibližně 10 % vykrystalizovaného energosádrovce CaSO_4 . K separaci energosádrovce se využívá rozdílné hmotnosti jednotlivých složek suspenze, přičemž energosádrovec je těžší než vápenec a siřičitan vápenatý. [13] [16] [17] [18]

3.3.2 Technologický proces mokrého odsiřování

Spaliny, které odcházejí z kotle, jsou v elektrostatickém odlučovači zbaveny téměř všech tuhých látek a vstupují do absorbéru neboli odsiřovacího zařízení. Absorbér je vertikální nádoba nejčastěji kruhového průřezu. Spodní část absorbéru je tvořena jímkou absorpční suspenze, nad tou ve střední části se nachází absorpční zóna, v horní části jsou vestavěny 3 až 4 sprchové roviny. Sprchová rovinou rozumíme horizontálně uloženou potrubní síť s velkým množstvím speciálních trysek. Trysky umožňují rozstřík absorpčního činidla, tzn. vápencové suspenze. Vápencová suspenze je rozstříkována v co nejmenších kapičkách, aby docházelo k usnadnění reakce s oxidem siřičitým SO_2 . Spaliny vstupují do absorbéru ve spodní části absorpční zóny mají teplotu 140 až 150 °C, v absorbéru postupují směrem nahoru a v horní části jsou skrápěny vápencovou suspenzí. Kapičky vápencové suspenze při styku se spalinami absorbují SO_2 . Touto reakcí SO_2 s vápencovou suspenzí vzniká suspenze siřičitanu vápenatého $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$, která se zachycuje ve spodní jímkce absorbéru. Do suspenze zachycené v jímkce je vháněn oxidační vzduch, dochází k oxidaci siřičitanu vápenatého $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ na sádrovec $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a následně ke krystalizaci sádrovce. Jímka musí mít dostatečný objem, aby mohla suspenzi zadržovat do doby, než dojde ke krystalizaci vápence. [12] [16] [19]



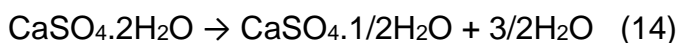
Obr.4: Mokrý vápencová vypírka – technologie výroby energosádrovce [19]

4 DEHYDRATACE SÁDROVCE

Sádrovec je zpracováván pomocí dehydratace krystalicky vázané vody za zvýšené teploty. Sádrovec přírodní i syntetický je stálý do 42 °C. Za vyšších teplot nastávají změny, které jsou zřetelně zaznamenané od teploty 75 až 80 °C. Působením teploty dochází k dehydrataci, tedy sádrovec ztrácí vodu. Je potřeba aby, parciální tlak uvolňovaných par dosáhl tlaku atmosférického, proto jsou z technologického hlediska použitelné teploty nad 100 °C. [20] [21]

Sádrovec je dihydrát síranu vápenatého $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ na jednu molekulu síranu se vážou dvě molekuly vody po dehydrataci získáváme hemihydrát síranu vápenatého, kde se na jednu molekulu síranu váže půl molekuly vody.

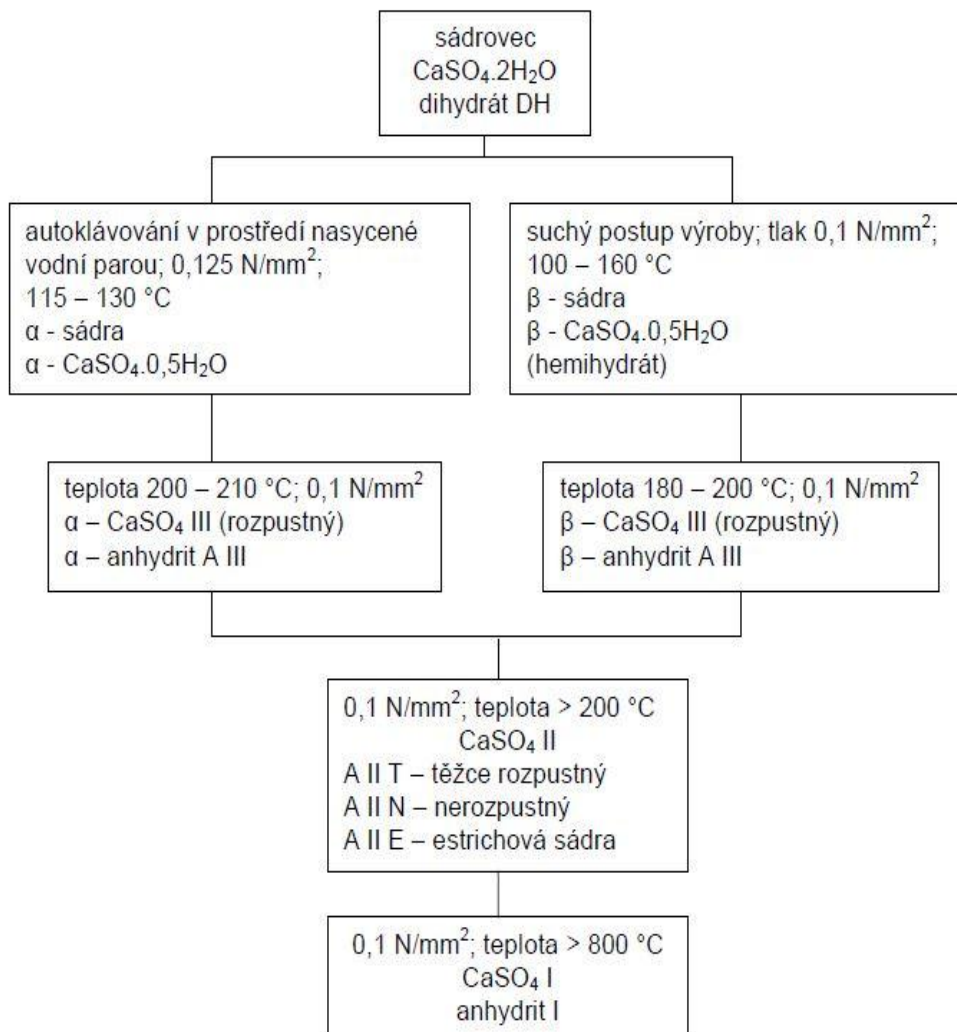
Reakci lze zapsat takto:



Při dalším zahřívání hemihydrátu pak vznikají různé modifikace síranu vápenatého CaSO_4 . Vlastnosti těchto modifikací jsou dány různým poměrem síranu CaSO_4 a vody H_2O . [21] [23]

Technologie dehydratace má vliv na výslednou modifikaci CaSO_4 , která určuje vlastnosti vzniklého pojiva, a to hlavně jeho pevnost a počátek a dobu tuhnutí. Dehydratace není ovlivněna pouze teplotou, výsledná krystalická forma je dána také přítomností vodních par. Při vysoké vlhkosti přítomné v systému, může docházet k hydrataci (anhydrid přehází zpět v sádrovec). Důležitou roli hrají také tlak a časové trvání průběhu reakce. Například na úplnou dehydrataci sádrovce na anhydrid při teplotě 100 °C za zvýšeného tlaku je potřeba 28 dní. Dalšími faktory mohou být jiné sloučeniny přítomné v systému. Například CO_2 usnadňuje kalcinaci sádrovce, proto pokud je v systému přítomen suchý oxid uhličitý přechází dihydrát v hemihydrát velmi rychle již při 31 °C, ve vodném roztoku nasyceném oxidem uhličitým dochází k úplné dehydrataci $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ na CaSO_4 již při 125 °C. V 0,2% roztoku H_2SO_4 při 150 °C se sádrovec kompletně dehydratuje v anhydrit již po 4 hod díky vyšší kinetice rozpouštění. Dalším příkladem je dehydratace 1,5% roztokem H_2SO_4 dihydrátu při 90 °C během 24 hodin. [20] [23] [24]

Vznik a podmínky vzniku forem síranu vápenatého CaSO_4 popisuje následující schéma viz obr.5.



Obr.5: Dehydratace sádrovce – schéma vzniku forem CaSO_4 [21]

4.1 Přehled jednotlivých produktů dehydratace

V této kapitole jsou podrobněji popsány jednotlivé produkty vznikající dehydratací sádrovce, a to včetně způsobu jejich vzniku.

4.1.1 Hemihydrát síranu vápenatého

Při nižších teplotách získáme hemihydrát (poměr síranu a vody je tedy 1: $\frac{1}{2}$), který se vyskytuje ve dvou formách alfa a beta sádra. Alfa sádra vzniká při teplotách nad 100 °C v atmosféře nasycené vodní parou, tzv. dehydratací na mokré cestě. Beta sádra vzniká při teplotách 100 až 160 °C v atmosféře, která není nasycena vodní parou, tzv. dehydratací na suché cestě. [20] [24]

4.1.2 α -hemihydrát (α -sádra)

Vzniká zahříváním sádrovce v autoklávu za mírného přetlaku (0,12 až 0,13 MP) na teplotu 115 až 130 °C, kde ve spodní vrstvě vařáku dochází ke krystalizaci v roztoku soli. Krystalická voda nenarušuje strukturu α -hemihydrátu, protože se uvolňuje v kapalně formě. Krystalky α -hemihydrátu jsou prizmatické, dobře vyvinuté, malé a hutné. Rozpustnost krystalů α -hemihydrátu při přípravě kaše je pomalejší. Pomalé tuhnutí vede ke vzniku uspořádané mřížky dihydrátu, která se následně projeví vyšší pevností zatvrdlé kaše. Měrná hmotnost alfa je 2700 až 2760 kg/m³ a hodnota vodního součinitele pro přípravu kaše normální konzistence se pohybuje v rozmezí 0,35 až 0,45. [20] [21]

4.1.3 β -hemihydrát (β -sádra)

Vzniká zahříváním sádrovce za normálního tlaku při teplotě 100 až 160 °C. Uvolňovaná voda má formu páry, tato vodní pára nakypřuje hmotu a tím dochází k narušování struktury vznikajících krystalů β -hemihydrátu, což vede i ke zvětšení měrného povrchu jeho krystalů oproti α -hemihydrátu, její měrná hmotnost je 2630 až 2680 kg/m³. Kvůli vyšší hodnotě měrného povrchu je nutné zvýšit množství rozdělovací vody a hodnoty vodního součinitele se zde pohybují v rozmezí 0,5 až 0,7. Zvýšený vodní součinitel oproti α -hemihydrátu má za následek také výrazný pokles konečných pevností v tlaku β -hemihydrátu. [21] [23]

Tab. č.1: Srovnání vlastností α -hemihydrátu a β -hemihydrátu [21]

Vlastnost	α	β
velikost částic	10–20 μm	1-5 μm
porosita částic	není porézní	je porézní
měrná hmotnost	2700-2760 kg/m ³	2630-2680 kg/m ³
poruchy v krystalické mřížce	malé	velké
vodní součinitel	0,30-0,35	0,6-0,8
rychlost vývoje pevností	menší	větší
reakční teplo	579 kJ/kg	590 kJ/kg
hydratační teplo	17,2 kJ/mol	16,9 kJ/mol
konečná pevnost	až 30 MPa	do 10 MPa

4.1.4 Anhydrity

Při vysokých teplotách dochází k celkové dehydrataci sádrovce, vzniká tedy bezvodý síran vápenatý neboli anhydrit (poměr síranu a vody je 1:0).

4.1.5 CaSO₄ III

Anhydrit CaSO₄ III vzniká dehydratací hemihydrátu CaSO₄·0,5H₂O, tyto anhydrity jsou však metastabilní a mají tendenci měnit se zpět na hemihydrát i vzdušnou vlhkostí. Anhydrit III pak dalším zahříváním přechází do stabilní modifikace anhydritu II. Rozlišují se dvě formy anhydritu III podle toho, zda došlo k přeměně alfa či β-hemihydrátu. Rozpustný anhydrit α-CaSO₄ III vzniká zahříváním alfa hemihydrátu na teplotu 200 až 210 °C. Rozpustný anhydrit β-CaSO₄ III získáváme buď ohřevem sádrovce za sníženého tlaku nebo z β-hemihydrátu zahříváním na 170 až 180 °C. β- CaSO₄ III je díky své porézности a z toho vyplývajícího většího měrného povrchu více nestálý. α-CaSO₄ III i β-CaSO₄ III jsou reaktivnější než jím odpovídající hemihydráty. Z toho plyne větší množství potřebné vody (w=1,0) pro přípravu kaše, rychlejší tuhnutí a nižší dosahované pevnosti. Podíl rozpustného anhydritu III v rychle tuhnoucí sádře zvyšuje její rozpínání, a proto je žádoucí obsah anhydritu v ní minimalizovat. [20] [24]

Pozn.: Vyrobený β-hemihydrát vždy obsahuje jisté procento A III, proto se skladuje v dozrávacích silech, kde se nestabilní anhydrit III přemění zpět na hemihydrát.

4.1.6 CaSO₄ II

Anhydrit II je jedinou modifikací bezvodého CaSO₄, která je při normální teplotě stabilní. Při jeho dalším zahřívání pak dochází k jeho přeměně na modifikaci CaSO₄ I. Podle teploty výpalu a reaktivity dělíme anhydrit II na tři typy:

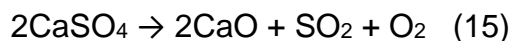
- | | |
|-----------------|---|
| Anhydrit II / T | <ul style="list-style-type: none">- těžce rozpustný- teplota výpalu 200 až 300 °C- reakce s vodou s rostoucí teplotou klesá |
| Anhydrit II / N | <ul style="list-style-type: none">- nerozpustný- teplota výpalu 300 až 600 °C- velmi pomalá reakce s vodou- identický s přírodním anhydritem |
| Anhydrit II / E | <ul style="list-style-type: none">- Estrichová sádra |

- teplota výpalu nad 600 °C, část anhydritu A II se rozpadá na CaO a SO₃

Nerozpustný anhydrit A II / N odpovídá svou morfologií a vlastnostmi přírodnímu anhydritu. Jeho krystalizace probíhá v romboické soustavě. Jeho měrná hmotnost je 2900 až 3100 kg/m³, tvrdost dle Mohse pak 2,9 až 3,5. Spotřeba vody pro přípravu kaše je zde nízká, vodní součinitel má hodnotu přibližně 0,27. Reakce s vodou je velmi pomalá, a proto se v praxi ke zrychlení hydratace k anhydritu přidávají budící přísady. Po zatvrdnutí anhydritu II dosahují pevností v tlaku 15 až 25 MPa. [21]

4.1.7 CaSO₄ I

Výpalem anhydritu II v šachotvých nebo rotačních pecích při teplotě 800 až 1000 °C vzniká vysokoteplotní modifikace anhydrit I. Takto vysoká teplota vede k částečnému rozkladu síranu vápenatého. Tento rozklad lze popsat následující rovnicí:



Pokud vzniká směs, která má následující obsah:

78 až 85 % nerozpustný A II / N, 8 až 15 % hemihydrát, 2 až 3 % CaO,

hovoříme o tzv. pomalu tuhnoucí či potěrové sádře, přičemž CaO zde působí jako aktivátor hydratační reakce. [21] [23]

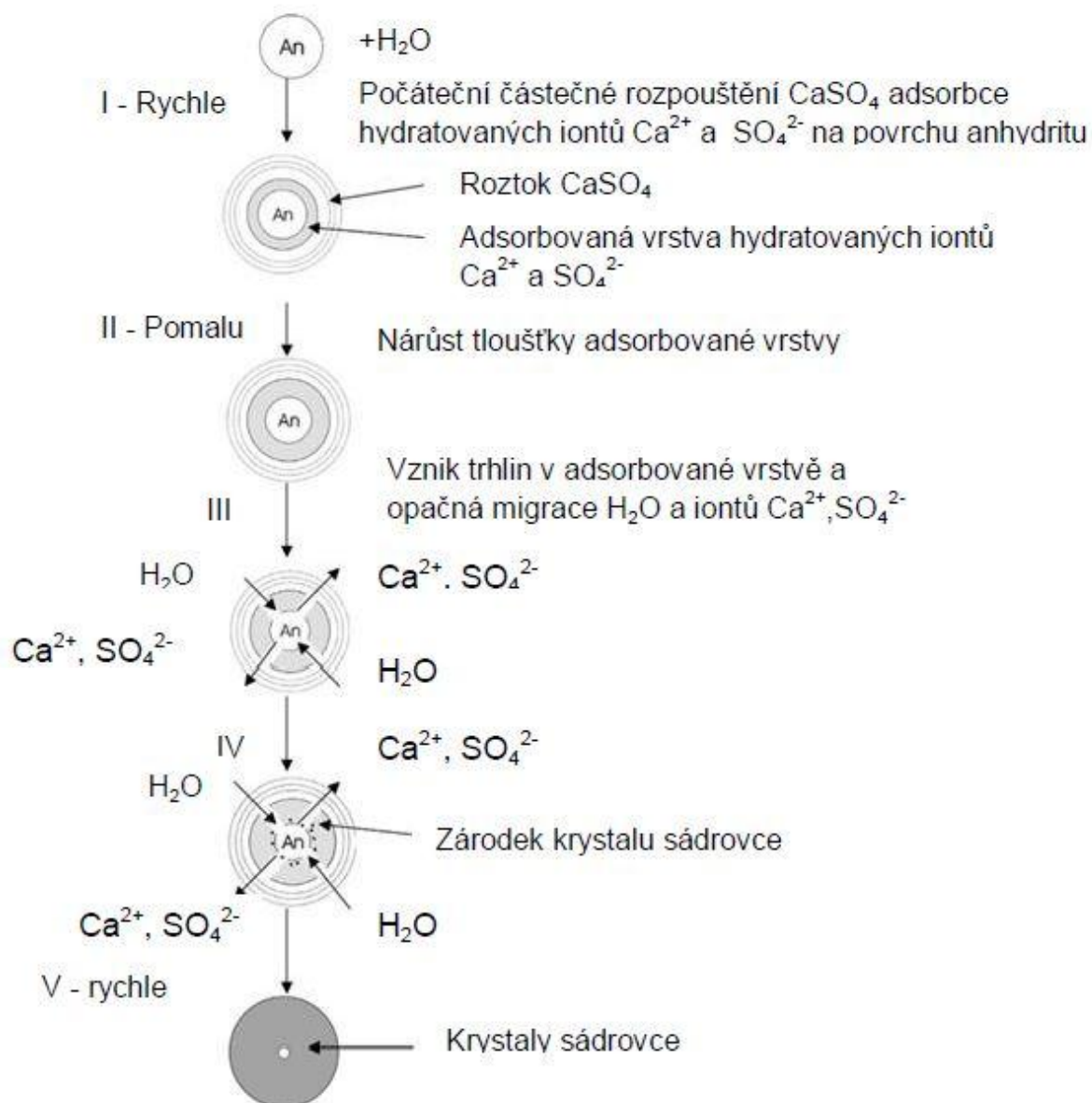
5 HYDRATACE ANHYDRITU

Tuhnutí a tvrdnutí rozemletého anhydritu je založeno na přeměně anhydritu se současným chemickým vázáním vody na sádrovec. Tato reakce lze popsat následující rovnicí:



Anhydritové pojivo je velmi citlivé na přídavek vody. Teoreticky potřebuje 100 g anhydritu pro úplnou reakci 26,4 g vody (vodní součinitel $w = 0,264$). Podle zkušeností však stačí vodní součinitel $w = 0,20$. Jen 63 % anhydritu však hydratuje, zbytek tvoří plnivo. Je to rozdíl proti sádře, kde se pracuje s přebytkem vody, a tedy s vodním součinitelem, který je vyšší než teoretický vodní součinitel (0,186). [21]

Proces hydratace jemně rozemletého anhydritového pojiva je velmi pomalý a pouze částečný a s tím je spojena i jeho pomalé tuhnutí. Mechanismus hydratace anhydritu je popsán v následujícím schématu:



Obr.6: Hydratace anhydritu – schéma [25]

5.1 Mechanismus tuhnutí a tvrdnutí anhydritového pojiva

Zjednodušeně lze celý mechanismus tuhnutí a tvrdnutí jemně rozemletého anhydritového pojiva za přítomnosti budící přísady popsat třemi vzájemně se prolínajícími úseky:

- a) Hlavní část hydratace – nastává za 24 až 72 hod, během této doby se vytvoří dostatečné množství sádrovce pro zatuhnutí pojiva, přičemž hydratace je hlubší a rychlejší za použití síranových aktivátorů než za použití aktivátorů zásaditých či směsných.
- b) Vysychání zatuhlého pojiva – v tomto úseku se voda částečně chemicky váže a dochází také k jejímu odpařování, dochází ke zvyšování mechanických pevností pojiva.
- c) Pozvolné dohydratování zatvrdlého pojiva pohlcováním vlhkosti z okolí. [20]

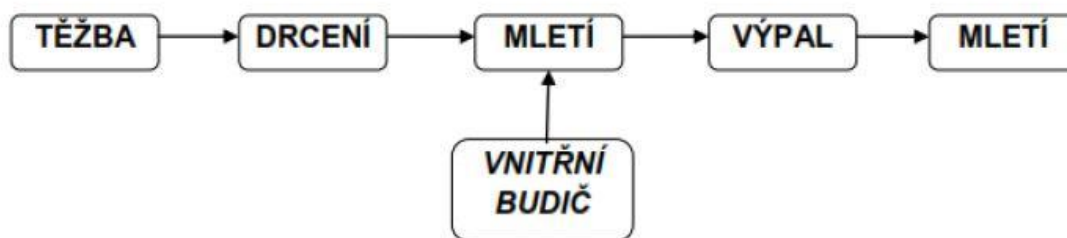
6 AKTIVÁTORY HYDRATACE ANHYDRITU

Hydratace samotného jemně rozemletého anhydritu je neefektivní a pouze částečná. Touto skutečností je ovlivněné i jeho následné tuhnutí a tvrdnutí. Vzniklá zatuhlá pasta má nedostačující vlastnosti, a to zejména pevnosti v tlaku, které se v tomto případě pohybují v řádech jednotek MPa. Z tohoto důvodu je nezbytné pro výrobu anhydritového pojiva použití látek urychlujících jeho hydrataci. Tyto látky nazýváme budící (aktivační) přísady, tzv. budiče (aktivátory). Budící přísady mají schopnost aktivovat hydrataci, působí jako katalyzátory tuhnutí a tvrdnutí, přičemž jejich účinek na tento proces je pozitivní. Přídavkem budících přísad kromě urychlení zatuhnutí anhydritového pojiva dosáhneme také k výraznému mechanickému zpevnění zatvrdlého pojiva. [26] [21]

Budiče mohou být k anhydritovému pojivu přidávány ve dvou fázích výroby, z tohoto hlediska se pak dělí na budiče vnitřní a vnější: [20]

Vnitřní budiče

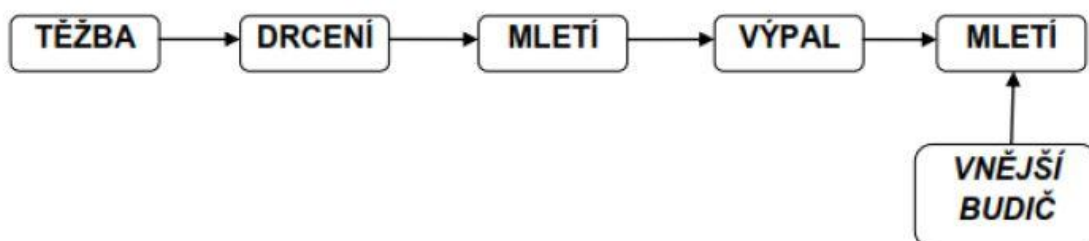
- přidávají se k surovině již před vlastním výpalem, nebo je samotná surovina již obsahuje, např. Volné CaO vzniklé při rozpadu CaSO_4 při výpalu pomalu tuhnoucí sádry.



Obr.7: Vnitřní buzení – schéma

Vnější budiče

– mohou být přidávány buď při mletí anhydritu (následně jsou s ním homogenizovány), nebo se dávkuje společně se záměsovou vodou.



Obr.8: Vnější buzení – schéma

Z chemického hlediska dělíme budiče do tří skupin: [21]

- Zásadité budiče – např. vápno, pálený dolomit, granulovaná vysokopeční struska, vodní sklo, portlandský cement aj.
- Síranové budiče – např. NaHSO_4 , KHSO_4 , Na_2SO_4 , $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ aj.
- Směsné budiče – vznikají kombinací několika budičů zásaditých nebo síranových, např. směs ZnSO_4 a K_2SO_4 , nebo směs Portlandského cementu a Na_2SO_4 aj.

Tab.2: Mezní dávkování budících přísad v % z hmotnosti použitého pojiva [21]

budící přísady		množství
zásadité	portlandský cement	$\leq 7 \%$
	vápenný hydrát	
	vysokopeční struska	
síranové	síran hlinitý	$< 3 \%$
	síran zinečnatý	
	síran draselný	
směsné	zásadosíranový	5%, z toho max. 3 % sulfátů

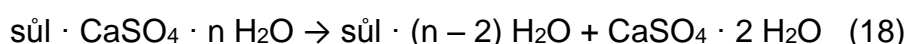
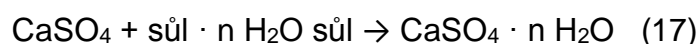
6.1 Síranové budiče

Katalytický účinek síranových aktivátorů je chemický, přičemž se při tunutí anhydritu tvoří komplexní meziprodukty. Obecně lze průběh hydratace anhydritu za přítomnosti síranových látek popsat následujícím schématem reakcí. Tyto reakce probíhají za sebou více méně odděleně. [26]

- 1) rozpuštění anhydritu
- 2) přesycování roztoku a tvorba nestálých komplexních solí
- 3) rozklad komplexních solí a vylučování krystalů sádrovce

Jednotlivé typy síranových katalyzátorů se navzájem liší aktivitou, která je závislá na pohyblivosti kationtů ve vodním roztoku.

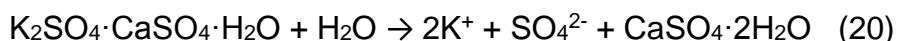
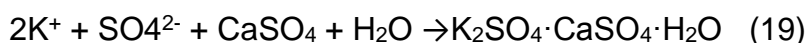
Obecná rovnice tvorby dihydrátu, která platí v podstatě pro všechny sírany, lze zapsat následovně:



Významnými katalyzátory hydratačního procesu anhydritu jsou např. síran sodný nebo síran draselný. U vzorků aktivovaných síranem sodným nebo síranem draselným se vyskytují nestále podvojně soli. Tyto nestabilní podvojně soli vytvořené chemickými katalyzátory se soustřeďují na povrchu anhydritu (CaSO_4),

kde se rozkládají do na kationty a anionty (kationty K^+ , anionty SO_4^{2-}). Tyto rozložené ionty narušují strukturu anhydritu II, čímž zvyšují jeho rozpustnost a tím jeho schopnost reagovat s vodou. V případě síranu sodného (Na_2SO_4) vzniká podvojná sůl eusterit ($2Na_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot 2H_2O$) případně také hydratovaný samotný síran, tzv. mirabilit ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$). U síranu draselného (K_2SO_4) pak analogicky vzniká vápenatodraselná sůl, tzv. syngenit ($K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$). [20] [26]

Působení aktivačního účinku síranu draselného (K_2SO_4) je popsáno následujícími rovnicemi:



6.2 Zásadité budiče

Katalytický účinek zásaditých aktivátorů je fyzikální a jeho vlivem se nevytváří meziprodukty. Tuhnutí anhydritu bez tvorby meziproduktů je podstatným rozdílem v procesu tuhnutí v porovnání se síranovými budiči, jejichž katalytický účinek je chemický. Síranové budiče zvyšují rozpustnost anhydritu, naopak budiče zásadité jeho rozpustnost snižují. Rychlost hydratace anhydritu v alkalickém prostředí je pomalejší a méně intenzivní. [26]

6.3 Směsné budiče

Působení zásaditých i síranových budičů funguje na odlišném principu, a také mechanismus tuhnutí pojiva je rozdílný. Vzhledem k tomu, že směsné budiče obsahují zásaditou i síranovou složku, uplatňují se při buzení anhydritu oba mechanismy. Díky tomu jsou směsné aktivátory nejúčinnější možností buzení hydratace anhydritového pojiva. [26]

7 PŘÍSADY

Jako přísady označujeme chemické látky přidávané k pojivu nebo směsi, které mají schopnost upravit vlastnosti složky síranu vápenatého jako např. zpracovatelnost, tvrdnutí nebo tuhnutí. Tato schopnost funguje na chemickém nebo fyzikálním principu, popř. na jejich kombinaci. Modifikující přísady jsou ke směsi přidávány během míchání za účelem zlepšení jejich vlastností v čerstvém i zatvrdlém stavu. Dávkování přísad se zpravidla řídí doporučením výrobce, které je uvedeno

v příslušném technickém listu. Přísady jsou vyráběny jako tekuté nebo práškové látky, které se podle normy dávkuje do vody před přidáním pojiva. V praxi je však lepší řídit se pokyny výrobce. Existuje mnoho druhů přísad např. urychlovače nebo zpomalovače tuhnutí, provzdušňující, retenční, odpěňovací, plastifikační. [27]

7.1 Plastifikační přísady

Nejběžněji používanými přísadami jsou přísady plastifikační, které dokáží redukovat potřebné množství vody při zachování stejné konzistence směsi. Snížením dávky vody dochází zároveň ke snížení vodního součinitele, což vede ke zvýšení konečných pevností zatvrdlého pojiva. Kromě přísad plastifikačních můžeme použít také přísady superplastifikační, které dokáží redukovat potřebné množství vody výrazněji. Vždy se ovšem musí věnovat pozornost možnému přebytku vody, který vede k jejímu odlučování, tzv. bleedingu. V tomto případě dochází k nežádoucímu rozměšování směsi. [27] [28]

Jako plastifikační a superplastifikační přísady se z chemického hlediska používají skupiny níže uvedených organických sloučenin:

- LS soli nebo deriváty ligninsulfoanů
- PC estery polykarboxylových kyselin
- SNF sulfonované naftalenformaldehydové kondenzáty
- SMF sulfonované melaminformaldehydové kondenzáty
- CAE kopolymery karboxyakrylové kyseliny s akrylesterem [27]

8 LITÉ ANHYDRITOVÉ POTĚRY

Pojem litý potěr, označuje potěr, který vzniká samovolným rozlitím směsi. Není zde prováděno klasické hutnění pomocí vibračních latí apod., ale pro tento účel se používají speciální tyče. Doporučuje se použít jako potěr na oddělovací vrstvě, plovoucí potěr nebo vytápěný potěr (ve smyslu ČSN EN 13813). Méně vhodné je jeho použití anhydritového spojeného potěru. [36]

Druhy potěrů:

- spojovací potěr,
- potěr na separační vrstvě,
- potěr na izolační vrstvě,
- topný potěr.

8.1 Použití

Vzhledem k nestálému charakteru pojivových vlastností anhydritových potěrů při styku s vodou a zvýšenou vzdušnou vlhkostí není vhodné volit tento typ podlah do exteriérů nebo do trvale vlhkých prostor jako jsou např. prádelny, velkokuchyně, sauny, bazény apod. Působením vlhkosti dochází zejména ke ztrátě pevnosti anhydritové podlahy, a to až o 50 % oproti pevnosti původní, při vysušení pak dochází k opětovnému nárůstu pevností podlahy na původní hodnoty. Podlaha však musí vyschnout bez mechanického poškození.

V rodinných domech je použitelnost anhydritových podlah téměř neomezená. Zvýšená pozornost zde musí být věnována místnostem se zvýšenou vlhkostí jako např. koupelny, toalety nebo garáže, kde je nezbytně nutné provést opatření v podobě stěrkových hydroizolací. V místech, kde se předpokládá zvýšené zatížení podlahy jako např. pod krbem nebo velkým akváriem, je třeba provést zpevnění anhydritového potěru, a to buď zesílením jeho vrstvy nebo zpevněním podkladu.

Anhydritové potěry nemohou sloužit jako pochozí vrstva podlahy, z důvodu jejich nedostatečné odolnosti proti ohrusu. Vrstva potěru je vhodná jako podložní vrstva pod finální nášlapnou vrstvu, např. parkety, dlažbu, koberec. Samotný litý potěr může jako nášlapná vrstva sloužit pouze v případě, že jsou provedeny příslušné povrchové úpravy jako např. stěrky z pryskyřic. [32] [33]

8.2 Aplikační a technologické vlastnosti

Aplikační a technologické vlastnosti litých anhydritových potěrů jsou velmi příznivé. Výhodami jsou např. jednoduchá manipulace s materiálem a snadné a časově nenáročné provádění.

8.2.1 Provádění dilatace

Jednou z výhod anhydritových potěrů je jejich malá roztažnost. Tato vlastnost umožňuje provádění až 600 m² podlahové plochy bez nutnosti provádění dilatačních spár, přičemž musí být dodržen dilatační poměr max. 3:1. V případě, kdy je součástí podlahového systému také podlahové topení snižuje se maximální plocha podlahy bez dilatace na 300 m². Pokud se v rámci jedné místnosti nachází více topných okruhů a teplota v těchto okruzích se neliší o více než 15 °C, rovněž není nutno, aby byly od sebe dilatovány. [32] [34]

8.2.2 Pokládka

Samonivelační schopnost litých anhydritových podlah předurčuje kvalitu povrchu, která není velmi závislá na samotném praktickém provedení. Pokládka je snadná, fyzicky nenáročná a rychlá. Vysoká tekutost směsi umožňuje nenáročné provedení téměř jakéhokoli geometrického půdorysného řešení podlahy. Výšku vylité anhydritové vrstvy lze v jednotlivých místnostech upravovat a přizpůsobit ji tak navržené finální podlahové krytině. Minimální tloušťka potěrové vrstvy je 35 mm nad rozvody podlahového topení. [31] [32]

Podmínky pro provedení litého potěru

- Teplota vzduchu i konstrukce musí být v rozmezí 5 až 30 °C, po dokončení lití musí být prostory uzavřené a zastíněné po dobu 48 hodin.
- Kontrola konzistence směsi probíhá zkouškou rozlití pomocí Haegermannova kužele, přičemž musí být dosažena hodnota rozlití deklarovaná výrobcem potěru (min. 220 mm).
- Směs je do prostoru lití dopravována gumovými hadicemi pomocí šnekových nebo pístových čerpadel. Lití je doporučeno provádět ze vzdálenosti 200 mm od pevného podkladu kývavým pohybem tak, aby došlo k rovnoměrnému rozmístění tekuté směsi.
- Nivelace vylitého potěru se provádí krátkými vibračními pohyby pomocí duralových latí, o šířce 0,75 až 2,5 m. Nivelace má být prováděna co nejdříve po nalití potěru, maximálně do 25 minut. Je vhodné nivelovat ve třech krocích, nejdříve v celé tloušťce provedeného potěru, poté pouze v povrchové vrstvě ve dvou na sebe kolmých směrech tak, aby bylo dosaženo rovinnosti ± 2 mm/m. Hutnění zároveň homogenizuje a odvzdušňuje čerstvý potěr, což je důležité pro dosažení jeho požadovaných konečných pevnosti a výslednou tepelnou vodivost.
- Pracovní četa se 3 až 5 pracovníky je schopna provést přibližně 1000 m² za jednu směnu. [32]

8.2.3 Vysychání a ošetřování

Vysychání tekuté anhydritové směsi je pomalé, což vede k delším technologickým přestávkám. Je nutné zajistit stejné podmínky vysychání pro celou provedenou plochu podlahy. Nerovnoměrnost vysychání by mohla mít za následek vznik trhlin

vlivem nerovnoměrného smršťování. Je důležité vysychací proces podřídit takové rychlosti dehydratace, při které nedochází k poškození materiálu. Anhydrity jsou k dehydrataci náchylné v prvních 24 až 48 hodinách. [32] [34]

Podmínky vysychání a o šetřování

- Anhydritový potěr se stává pochozím po 48 hodinách od ukončení pokládky. Tato doba se může lehce lišit v závislosti na teplotě a vlhkosti prostředí, ve kterém vysychání a následné zrání potěru probíhá.
- Po cca 10 dnech končí v provedeném potěru krystalizace dihydrátu a tím i tvrdnutí směsi. Konečné pevnosti potěru jsou pak závislé na množství zbytkové vlhkosti, přičemž potřebná doba pro dosažení vlastností deklarovaných výrobcem je 28 dní.
- Maximální zbytková vlhkost je 1 %, popř. 0,5 % v závislosti na provedení nášlapné vrstvy (ČSN EN 74 4505).
- Po 48 hodinách nastává fáze intenzivního větrání okny v prostoru provedeného potěru. Od sedmého dne lze vysychání podpořit postupným zahříváním potěru podlahovým topením.
- Pokud je teplota prostředí 20 °C a relativní vlhkost vzduchu 50 %, udává se, že 1 cm tloušťky potěru vyschne za 1 týden bez zahřívání podlahovým topením.
- Pokud po prvních 48 hodinách nejsou zajištěny optimální podmínky začátku vysoušení, může anhydritový potěr podléhat objemovým změnám. Vysoká zbytková vlhkost potěru způsobuje bobtnání potěru v důsledku sekundární krystalizace.
- Pro zjištění stavu vyschnutí lze použít nedestruktivní metodu kontroly pomocí PE fólie. PE fólii o rozměrech 500 x 500 mm přiložíme na potěr a po obvodu přilepíme lepící páskou. Takto zafixovanou fólii necháme na potěru 24 hodin, v případě, že pod fólií během této doby zkondenzuje voda, není potěr dostatečně vyschlý pro provádění nášlapné vrstvy podlahy. [33] [34]

8.3 Sintrová vrstva

Sintrová vrstva (sintr, šlem) vzniká při tuhnutí a tvrdnutí anhydritového potěru, kdy dochází ke kapilárnímu transportu vody na povrch potěru. Transportovaná voda může obsahovat rozpuštěné látky, které se usazují na povrchu potěru a tím tvoří

tzv. sintrovou neboli slinutou vrstvou. Sintrová vrstva vzniká v prvních dnech po provedení potěru, na pohled se jeví matně až hladce a její tloušťka je řádově v desetinách milimetru. Při tvorbě této vrstvy může docházet ke vzniku prasklin, zasahujících i do konstrukční vrstvy potěru, ty však nemají na kvalitu realizované podlahy vliv.

Na vzniku sintru se se podílí také síranové budiče, které tvoří hydratované sírany nebo podvojně soli, přičemž výsledný šlem závisí také na druhu síranového budiče. Například v praxi nejpoužívanější budič K_2SO_4 v porovnání se síranem sodným Na_2SO_4 dává vzniknout slabší vrstvě šlemu. Dalšími aspekty, na kterých závisí tvorba sintru jsou také tloušťka realizovaného potěru a druh použitého písku.

Sintrová vrstva je nesoudržná s vlastní matricí potěru a odstranění šlemu urychlí proces vysychání potěru, proto je vhodné ji vždy odstranit. V ranných fázích zrání potěru je možno sintr odstranit zametením či seškrábnutím, později se odstranění musí brousit brusným papírem nebo diamantovým kotoučem. Pokud je nášlapná vrstva podlahy řešena jako nelepená, není nutné šlem sundat, pak je však potřeba počítat s delší dobou vysychání potěru. [34]

8.4 Anhydritový potěr v praxi

Lité anhydritové potěry jsou vhodné pro všechny podlahové krytiny, přičemž mají velmi dobrou rovinatost. Dosahují minimální pórovitosti, což se příznivě projeví v jejich tepelné vodivosti, která je zlepšována také tím, že potěr těsně obaluje trubky podlahového topení. Proto u anhydritového potěru dochází k až o 40 % rychlejšímu prohřátí než u betonové podlahy. Výsledné pevnosti anhydritových podlah závisí jak na kvalitě použitého materiálu, tak na kvalitě provedení. Pevnosti v tlaku dosahují 20 až 30 MPa a pevnosti v tahu za ohybu se pohybují v rozmezí 4 až 6 MPa. Běžně bývají anhydritové potěry používány v konstrukcích až do zatížení 5 kN/m².

Výrobci dodávají anhydritové směsi jako čerstvé namíchané nebo pytlované v různých pevnostních variantách. [34] [35]

- Pytlované směsi jsou zpravidla dováženy ze zahraničí, hlavně z Německa a Rakouska, jsou označovány jako tzv. compound. Compound je směs pojiva přísad, dodavateli na českém trhu jsou např. Morfico, KVK, Baunit, Hasit, aj.

- Pro čerstvé směsi mají firmy obchodní názvy, pod kterými jsou dodávány např. Cemex (AnhyLevel), Zappa (AnhyScreed), Českomoravský beton (Anhyment), Morfico (MFC Anhydrit), aj.

Pro příklad jsou níže uvedeny dva na trhu běžně dostupné produkty.

Firma Cemex dodává lité anhydritové směsi s obchodním názvem AnhyLevel, jedná se o hotovou směs připravenou k okamžitému použití, která je vyráběna v betonárnách a na stavenišť se dodává v autodomíchavačích.

Dalším výrobcem je firma Morfico, která nabízí anhydritové potěry s názvem MFC Anhydrit ve dvou provedeních. Prvním je hotová čerstvá směs, která je dodávána aplikačním návěsem Transmix. Návěs slouží jako dopravní a zároveň míchací zařízení, přičemž k míchání dochází přímo na staveništi, což umožňuje výrobu přizpůsobit přesné spotřebě. Druhou možností je suchá pytlovaná směs (25 kg pytel). Pytlovanou směs je možno zpracovávat běžnými omítacími stroji, popř. ručně v mísící nádobě pomocí míchacího nástavce na vrtačce. Spotřeba suché směsi je uváděna jako 19 kg/m²/cm. [34] [35]

Tab.3: Pevnostní charakteristiky AnhyLevel a MFC Anhydrit

Obchodní název	Označení dle ČSN EN 13813	Pevnost v tlaku [MPa]	Pevnost v tahu za ohybu [MPa]
AnhyLevel 20	CA-C20-F4	> 20	> 4
MFC Anhydrit 20			
AnhyLevel 25	CA-C25-F5	> 25	> 5
MFC Anhydrit 25			
AnhyLevel 30	CA-C30-F6	> 30	> 6
MFC Anhydrit 30			

Pozn.: Uvedené hodnoty odpovídají vysušenému produktu po 28 dnech zrání

9 NORMATIVNÍ POŽADAVKY

Normativní požadavky na síranové maltoviny jsou určeny následujícími normami:

- ČSN 74 4505
Podlahy – společná ustanovení.
- ČSN EN 13813
Potěrové materiály a podlahové potěry – Potěrové materiály – Vlastnosti a požadavky.
- ČSN EN 13454-1
Pojiva, kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi pro podlahové potěry ze síranu vápenatého - Část 1: Definice a požadavky.
- ČSN EN 13454-2+A1
Pojiva, kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi pro podlahové potěry ze síranu vápenatého - Část 2: Zkušební metody.
- ČSN EN 13982-1
Zkušební metody potěrových materiálů – Část 1: Odběr vzorků, zhotovení a ošetřování zkušebních těles.
- ČSN EN 13982-2
Zkušební metody potěrových materiálů – Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku.

Základní rozdělení anhydritových maltovin je dáno normou ČSN EN 13454-1, rozlišujeme druhy pojiv a průmyslově vyráběné maltové směsi:

Pojivo se síranu vápenatého – CAB

Kompozitní pojivo ze síranu vápenatého – CAC

Průmyslově vyráběné maltové směsi – CA

9.1 Požadavky na pojiva CAB a CAC

Pojiva CAB se od kompozitních pojiv CAC liší především obsahem síranu vápenatého (CaSO_4). Pro pojiva CAB platí, že obsah síranu vápenatého musí být větší nebo roven 85 %. U kompozitních pojiv CAC je pak obsah síranu vápenatého minimálně 50 %, maximálně 84 %. Hodnota pH u obou pojiv musí být větší nebo rovna 7. Počátek tuhnutí těchto pojiv nesmí nastat dříve než po 30 minutách a konec

tuhnutí pak musí trvat méně než 12 hodin. Smrštění a rozpínání se musí pohybovat v rozmezí $\pm 0,2$ mm/m. [37]

Tab.4: Pevnosti pojiv CAB a CAC uvedené jako charakteristické hodnoty [37]

Pevnostní třída	Min. pevnost v tahu za ohybu [MPa]		Min. pevnost v tlaku [MPa]	
	3 dny	28 dní	3 dny	28 dní
20	1,5	4,0	8,0	20,0
30	2,0	5,0	12,0	30,0
40	2,5	6,0	16,0	40,0

9.2 Požadavky na průmyslově vyráběné maltové směsi CA

Konzistence průmyslově vyráběných potěrových materiálů se uvádí v mm. Podle hodnoty rozlití rozlišujeme 3 typy maltových směsí:

Tekuté maltové směsi – rozlití větší nebo rovno 220 mm, směs se nesmí odměšovat (bez zřetelné sedimentace, bez zřetelného vrstvení).

Plastické maltové směsi - hodnota rozlití musí být v intervalu (150 až 220) mm

Zavhlé maltové směsi - hodnota rozlití musí být v intervalu (110 až 140) mm, označení zavhlá maltová směs v normě EN 13454-1 odpovídá označení tuhá maltová směs v EN 13454-2.

Hodnota pH průmyslově vyráběných maltových směsí musí být větší nebo rovna 7. Minimální doba zpracovatelnosti pro tekuté, plastické i zavhlé směsi je 30 minut, přičemž doba zpracovatelnosti předem průmyslově umíchaných směsí se počítá od okamžiku ukončení přidávání vody do maltové směsi. [37]

Výroba a dodávka průmyslově vyráběných směsí:

Předem dávkované - suché; průmyslové dávkování složek, aplikace na stavbě řízená pokyny výrobce.

Předem průmyslově umísené – suché; aplikace na staveništi zamícháním s vodou.

Předem průmyslově umíchané – vlhké; dodávka na staveniště, přímo k užití.

Zatřídění podle pevnosti v tlaku

Tab.5: Pevnostní třídy průmyslově vyráběných směsí CA podle pevnosti v tlaku

Třída	C5	C7	C12	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C50	C60	C80
Pevnost v tlaku [MPa]	5	7	12	16	20	25	30	35	40	50	60	80

Pozn.: Tabulka je v souladu s EN 13813. Pro síran vápenatý jsou třídy C12 a C60 doporučené.

Zatřídění podle pevnosti v tahu za ohybu

Tab.6: Pevnostní třídy průmyslově vyráběných maltových směsí CA podle pevnosti v tahu za ohybu

Třída	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F10	F15	F20	F30	F40	F50
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	1	2	3	4	5	6	7	10	15	20	30	40	50

Pozn.: Tabulka je v souladu s EN 13813. Pro síran vápenatý jsou třídy F3 a F20 doporučené.

Kromě výše uvedeného musí průmyslově vyráběné maltové směsi vyhovovat také požadavkům na reakci na oheň, uvolňování nebezpečných látek, propustnost vodní páry, kročejovou neprůzvučnost, tepelnou odolnost či odolnost proti chemickým vlivům. Vzhledem k tomu, že se síranové potěry nepoužívají jako povrchová vrstva, není provádění zkoušky proti chemickým vlivům nutné. Pro posouzení těchto požadavků slouží norma ČSN EN 13813.

10 REŠERŠE PRACÍ ZABÝVAJÍCÍCH SE ANHYDRITOVÝMI POJIVY

V oblasti problematiky anhydritových pojiv a jejich příprav byla v minulosti na ÚTHD FAST zpracována řada prací.

Provedeno bylo pozorování účinnosti aktivace hydratačních procesů anhydritů různými síranovými, zásaditými a směsnými budícími přísadami.

Zkoušeny byly následující budící přísady:

- Síranové - energosádrovec Počerady
Alfa sádra Gaprom
Síran draselný K_2SO_4
Síran sodný bezvodý Na_2SO_4
- Zásadité - hlinitanový cement 52,5 Lafarge
Vápenný hydrát CL 90
Portlandský cement CEM I 42,5 R
Popílek Dětmarovice

Směsné - síran sodný bezvodý Na_2SO_4 a portlandský cement CEM I 42,5 R

Účinnost výše uvedených budících přísad byla pozorována na anhydritových pastách. Vyhodnocení bylo provedeno za základě vykazovaných technologických vlastností past a průběhu jejich hydratačního procesu. Velmi efektivní možností buzení byla kombinace síranu sodného a portlandského cementu. Dalším krokem pak byla optimalizace dávkování tohoto směsného budiče. Jako jeden z nejlepších poměrů byla určena dávka složená z 1 % síranu sodného a 4 % portlandského cementu. Pevnost v tlaku takto buzené anhydritové pasty dosahovala po 28 dnech až 28,5 MPa.

Dalším předmětem pozorování bylo porovnání základních technologických vlastností past z přírodního anhydritu těžného v Polsku a německé průmyslové směsi, tzv. compoundu. U průmyslové směsi po smíchání s vodou začíná hydratační proces a její konečné pevnosti v tlaku jsou až dvojnásobné oproti pevnostem, kterých dosahoval modifikovaný přírodní anhydrit.

II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem experimentální části této diplomové práce bylo pozorovat vliv vybraných plastifikačních přísad na technologické vlastnosti anhydritových past a malt. Prováděné zkoušení vycházelo z platných norem.

Byl zkoušen vliv plastifikačních přísad firmy Sika (řada ViscoCrete). Pro srovnání byla zkoušena také jedna plastifikační přísada firmy BASF (řada Melment), která byla v jednom z předešlých experimentů na ÚTHD FAST vyhodnocená jako nejvhodnější plastifikační přísada pro anhydritové maltoviny (z přísad pozorovaných v již zmiňovaném experimentu). Plastifikační přísady byly dávkovány v různých procentuálních podílech z hmotnosti pojiva. Technologické vlastnosti byly nejprve sledovány na anhydritových pastách a následně na normových anhydritových maltách. Pozorován byl vliv plastifikačních přísad na konzistenci, počátek tuhnutí, pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku anhydritových maltovin.

11 METODIKA

Experimentální část byla prováděna ve čtyřech etapách:

ETAPA I: Zkoušky prováděné na anhydritových pastách

- Stanovení kaše normální konzistence.
- Stanovení počátku tuhnutí kaše.
- Stanovení objemové hmotnosti po 3 a 28 dnech.
- Pevnost v tahu za ohybu po 3 a 28 dnech.
- Pevnost v tlaku po 3 a 28 dnech.
- X-ray difrakční (XRD) analýza vyhodnocení hydratačního procesu po 28 dnech.

ETAPA II: Zkoušky prováděné na anhydritových maltách

A) Anhydritové malty s konstantní dávkou vody 225 ml.

- Stanovení rozlité pomocí střešacího stolku.
- Stanovení optimálního vodního součinitele.
- Stanovení objemové hmotnosti po 3 a 28 dnech.
- Pevnost v tahu za ohybu po 3 a 28 dnech.
- Pevnost v tlaku po 3 a 28 dnech.

B) Anhydritové malty s konstantní hodnotou setřesení (150 ± 5) mm.

- Stanovení rozlití pomocí střešacího stolku.
- Stanovení optimálního vodního součinitele.
- Stanovení objemové hmotnosti po 3 a 28 dnech.
- Pevnost v tahu za ohybu po 3 a 28 dnech.
- Pevnost v tlaku po 3 a 28 dnech.

C) Anhydritové malty s konstantní hodnotou rozlití (230 ± 5) mm.

- Stanovení rozlití pomocí Haegermannova trychtýře.
- Stanovení optimálního vodního součinitele.
- Stanovení objemové hmotnosti po 3 a 28 dnech.
- Pevnost v tahu za ohybu po 3 a 28 dnech.
- Pevnost v tlaku po 3 a 28 dnech.

ETAPA III: Zkušební odliv vybraného anhydritového potěru

- Vizuální zhodnocení vzniku pórů.
- Vizuální zhodnocení sedimentace kameniva.
- Pozorování vzniku sintrové vrstvy.

12 POSTUP PRÁCE

Postup práce byl v jejím průběhu přizpůsobován poznatkům získaným v jednotlivých etapách.

12.1 ETAPA I: Zkoušky prováděné na anhydritových pastách

V první etapě byl zkoumán vliv plastifikačních přísad na anhydritových pastách. Pasty byly normově míchány dle postupu uvedeného níže v kapitole 13. Jednotlivé plastifikační přísady byly zkoušeny ve třech dávkách, a to 0,1 %; 0,3 % a 0,6 % z hmotnosti anhydritového pojiva. Složení zkoušených anhydritových past je uvedeno v tab.7.

Tab.7: Složení anhydritových past

složka směsi	dávka [% z hm. pojiva]	hmotnost [g]
anhydritové pojivo	/	500
budič CEM I 42,5 R	4	20
budič Na ₂ SO ₄	1	5
plastifikační přísady	0,1	0,5
	0,3	1,5
	0,6	3

Dávkování jednotlivých složek bylo prováděno s přesností na ± 1 g. Vliv plastifikačních přísad byl pozorován při zachování konzistence kaše (6 ± 1) mm. Z past byla vytvořena zkušební tělesa o rozměrech (20 x 20 x 100) mm.

Pro sledování tvorby hydratačních produktů, byly vybrány vzorky po provedení technologických zkoušek podrobeny mineralogickému rozboru pomocí XRD analýzy.

12.2 ETAPA II: Zkoušky prováděné na anhydritových maltách

Druhá etapa experimentální části této práce byla věnována anhydritovým maltám.

Pro přípravu anhydritových malt jsou v normě uvedeny dvě limitní hodnoty. První požadavek udává minimální množství vody, které musí být použito k přípravě směsi, a to 225 ml vody na 675 g pojiva. Druhý normový limit se týká hodnoty průměru koláče rozlití na střešacím stolku, která musí být (150 ± 5) mm po 15 rázech.

Postup práce byl tedy nejprve rozdělen do dvou částí. V první byl dodržen limitní požadavek na množství záměsové vody. V druhé byla dodržena normová hodnota rozlití.

Ve třetím úseku byly míchány tekuté anhydritové malty. Norma vymezuje tekuté směsi hodnotou jejich rozlití, které má být minimálně 220 mm. Aby bylo vyhověno požadavku normy na minimální rozlití a zároveň, aby mohlo dojít k relevantnímu srovnání výsledků, byla zde určena konstantní hodnota rozlití (230 ± 5) mm.

Malty byly míchány podle postupu uvedeného v kapitole 13, přičemž rozdělení částí bylo následující:

- A) Anhydritové malty s konstantní dávkou vody 225 ml.
- B) Anhydritové malty s konstantní hodnotou setřesení (150 ± 5) mm.
- C) Anhydritové malty s konstantní hodnotou rozlití (230 ± 5) mm.

Z poznatků získaných při míchání anhydritových past byly v částech A) a B) plastifikační přísady zkoušeny pouze ve dvou dávkách, a to 0,1 % a 0,3 % z hmotnosti pojiva. Dávka 0,6 % z hmotnosti pojiva byla vyřazena.

Pro výrobu zkušebních těles v části C) byla použita pouze dávka plastifikátoru v množství 0,3 % z hmotnosti pojiva. Na základě zhodnocení výsledků dosažených v etapě I, II A) a II B), bylo dávkování zkoušených plastifikačních přísad v množství 0,3 % zvoleno jako nejvhodnější.

Složení anhydritových malt zkoušených v této etapě je uvedeno v tab.8.

Tab.8: Složení anhydritových malt

složka směsi	dávka [% z hm.pojiva]	hmotnost [g]
anhydritové pojivo	/	675
písek CEN EN 196-1	/	1350
budič CEM I 42,5 R	4	27
budič Na_2SO_4	1	6,75
plastifikační přísady	0,1	0,675
	0,3	2,025

Dávkování jednotlivých složek bylo prováděno s přesností na ± 1 g. Z malt byla vytvořena zkušební tělesa o rozměrech (40 x 40 x 160) mm.

12.3 ETAPA III: Zkušební odliv vybraného anhydritového potěru

V poslední etapě experimentálního měření bylo provedeno zkušební odlití tekutého potěru. Pro tuto etapu byla vybrána směs s plastifikační přísadou 510 P v množství 0,3 % z hmotnosti pojiva. Byly namíchány dvě směsi, přičemž jedna směs navíc obsahovala odpěňovací přísadu Agitan P 801. Po 28 dnech byly obě dlaždice

rozříznuty a bylo provedeno jejich vizuální zhodnocení. Složení míchaného potěru je uvedeno v tab.10.

Tab.10: Složení tekutého potěru

složka směsi	dávka [% z hm. pojiva]	hmotnost [g]
anhydritové pojivo	/	1350
Písek CEN EN 196-1	/	2700
budič CEM I 42,5 R	4	54
budič Na ₂ SO ₄	1	13,5
plastifikační přísady	0,3	4,05

Dávkování jednotlivých složek bylo prováděno s přesností na ± 1 g. Odpěňovací přísada byla dávkována v množství 0,075 % hmotnosti z celé suché směsi, tzn. 3,114 g. Z malt byla vylita zkušební tělesa o rozměrech (250 x 250 x 30) mm.

13 POSTUPY ZKOUŠEK

Zkoušky prováděné v experimentální části diplomové práce vycházely z příslušných norem a jsou v této kapitole podrobně popsány.

Bylo využito těchto norem:

ČSN EN 13454-1: Pojiva, kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi pro podlahové potěry ze síranu vápenatého – Část 1: Definice a požadavky

ČSN EN 13454-2+A1: Pojiva, kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi pro podlahové potěry ze síranu vápenatého – Část 2: Zkušební metody

13.1 Zkoušení čerstvých směsí

- **Příprava pasty**

Při přípravě kaše se postupuje podle EN 196-3, kde se slovo cement zamění za pojivo. Pasta normální konzistence se připravuje z (500 ± 1) g pojiva a určeného odváženého množství vody. Nejprve se do míchačky nalije voda a do vody se přisype pojivo, tento čas se zaznamená jako tzv. nulový čas. Míchačka se uvede do provozu nízkou rychlostí po dobu 90 s. Po uplynutí této doby se na 15 s míchání

zastaví a stěrkou se setře pasta ulpělá na stěnách nádoby. Poté se míchačka opět uvede do chodu nízkou rychlostí po dobu 90 s.

- **Stanovení normální konzistence pasty**

Takto připravená pasta se plní do Vicatova prstence, který je položen na destičce potřené odbedňovacím přípravkem. Povrch pasty naplněného prstence se zarovná a Vicatův přístroj s penetračním válečkem se nastaví na nulovou hodnotu. Penetrační váleček Vicatova přístroje se zaaretuje tak, aby se dotýkal povrchu kaše ve středu prstence. Pohyblivá část přístroje se uvede do pohybu a váleček se nechá vnikat do pasty. Po 30 s se odečte hodnota na stupnici Vicatova přístroje. Pro pastu normální konzistence musí být vzdálenost mezi spodní plochou válečku a podložní destičkou v rozmezí (6 ± 3) mm. Zkouška se opakuje, dokud není toto kritérium splněno. Pokud pasta vyhovuje požadavku normy, zaznamená se množství vody použité pro její výrobu a vypočte se vodní součinitel podle vzorce: $w = m_{\text{vody}} / m_{\text{pojiva}}$.

- **Stanovení počátku tuhnutí pasty**

Pro stanovení počátku tuhnutí je nutné zaměnit penetrační váleček za ocelovou jehlu. Postup při míchání pasty je stejný jako u stanovení pasty normální konzistence. Hodnota proniknutí jehly do pasty se odečte nejdéle po 30 s. Požadavek normy na hodnotu vzdálenosti jehly od podložní destičky je (6 ± 3) mm. V momentě, kdy je tento požadavek splněn, zaznamená se doba uplynulá od nulového času, ta se zaokrouhlí s přesností na 5 min a je označena jako počátek tuhnutí pasty.

- **Příprava normové maltové směsi**

Malta pro vytvoření zkušebních těles se vytvoří z 675 g pojiva, 1350 g normalizovaného písku a vody. Množství vody nesmí být nižší než 225 ml a hodnota rozlití má být (150 ± 5) mm. Do míchacího zařízení se nalije voda, nasype pojivo a zapne se míchání nízkou rychlostí. Po 30 s se začne přidávat písek, jehož dávkování nesmí probíhat déle než 30 s. Rychlost míchacího zařízení se přepne na vyšší otáčky a směs se míchá dalších 30 s. Poté se na 90 s míchání přeruší, během této přestávky se setře malta ulpělá na stěnách míchací nádoby. Dále se pokračuje vysokou rychlostí po dobu 60 s.

- **Stanovení rozlití normové maltové směsi na střešacím stolku**

Před prvním použitím se střešací stolek nejprve několikrát použije naprázdno. Kovový kužel se položí na desku střešacího stolku a začne se plnit maltou ve dvou vrstvách. Každá vrstva se hutní deseti lehkými údery dusadla. Kovový kužel se kolmo k desce sejme a malta se patnácti rázy střešacího stolku rozlije. Průměr rozlitého koláče se změří ve dvou na sebe kolmých směrech. Z těchto dvou hodnot se vypočte jejich aritmetický průměr a zaokrouhlí se s přesností na 1 mm. Požadavek normy na hodnotu rozlití je (150 ± 1) mm.

- **Stanovení rozlití normové maltové směsi pomocí Haegermannova trychtýře**

Zkouška se provádí za použití rozlivového kónusu a vodorovné desky. Rozlivový kónus se položí na suchou a čistou desku, jednou rukou je pak kónus pevně přidržován na desce a naplní se směsí. Počká se 10 až 15 s a rozlivový kónus se pomalu zvedne kolmo vzhůru. Malta se nechá rozlít a následně se změří průměr koláče rozlití ve dvou na sebe kolmých směrech s přesností na 1 mm. Výsledná hodnota rozlití je pak průměrem obou naměřených hodnot.

- **Zhotovení těles**

Forma pro výrobu zkušebních těles o rozměrech (40 x 40 x 160) mm se položí na vibrační stůl, který se uvede do chodu. Plnění forem probíhá ve dvou vrstvách. První vrstva se plní 15 s do poloviny výšky formy, pak se vzorek hutní 15 s bez plnění a v dalších 15 s se přidá zbytek malty. Celková doba hutnění je (120 ± 1) s, poté se forma sejme z vibračního přístroje a povrch vzorků se zarovná špachtlí horizontálním pilovitým pohybem.

Pro zkoušení past byla zhotovena tělesa o rozměrech (20 x 20 x 100) mm.

- **Ošetření vzorku**

Forma se zkušební maltou musí být po dobu 48 hodin zakrytá nepropustným materiálem, konkrétně byla použita nepropustná fólie. Po dvou dnech se vzorky vyjmou z forem a uloží po dobu 26 dní do prostředí s teplotou vzduchu (20 ± 2) °C a relativní vlhkostí (65 ± 5) %

13.2 Zkoušení zatvrdlých směsí

Zkoušení zatvrdlých směsí bylo prováděno na vzorcích o rozměrech (40 x 40 x 160) mm a (20 x 20 x 100) mm.

- **Objemová hmotnost**

Objemová hmotnost zatvrdlých past byla zjišťována vždy před zkouškami pevnosti.

Pro zjištění objemové hmotnosti vzorku musíme znát jeho hmotnost a objem, proto je nutné vzorky zvážit a změřit a tyto hodnoty dosadit do následujícího vzorce:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

m ... hmotnost vzorku [kg]

V ... objem vzorku [m³]

- **Pevnost v tahu za ohybu**

Při zatěžování zkušebních těles na zatěžovacím lisu se zjistí výsledná síla F [kN] při porušení vzorku. Tato síla se dosadí do následujícího vzorce:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3}$$

b ... délka boční strany průřezu trámečku [mm]

F_f ... lomové zatížení vynaložené na střed trámečku [N]

l ... vzdálenost válcových podpor [mm]

- **Pevnost v tlaku**

Pro zjištění hodnoty pevnosti v tlaku zkoušených vzorků je nutné znát jejich maximální zatížení při porušení F_c [kN]. Zkouška se provádí na dvou polovinách, vzniklých při rozlomení vzorku při jeho zkoušení pevnosti v tahu za ohybu. Maximální zatížení F_c se dosadí do následujícího vzorce:

$$R_c = \frac{F_c}{A}$$

F_c ... lomové nejvyšší zatížení při porušení [N]

A ... tlačená plocha (plocha destiček) [mm²]

14 POUŽITÉ PŘÍSTROJE

Pro účely této práce bylo použito laboratorní vybavení na ÚTHD FAST v Brně.

- **Zkušební formy**

Pro výrobu zkušebních těles byly použity normativní trojformy. Anhydritové pasty byly plněny do trojforem, kde byl rozměr jednoho zkušebního trámečku (20 x 20 x 100) mm. Pro anhydritové malty byly použity trojformy s rozměrem jednoho zkušebního tělesa (40 x 40 x 160) mm. Pro odliv dlaždic ze samonivelačního potěru byly použity formy o rozměrech (250 x 250 x 30) mm.

- **Normativní míchačka**

Míchání anhydritových past a malt bylo provedeno na normativní míchačce.

- **Vicatův přístroj**

Pomocí Vicatova přístroje byla zjišťována normální konzistence a počátek tuhnutí anhydritových kaší.

- **Vibrační stůl**

Pro zhutňování zkoušených anhydritových směsí byl použit vibrační stůl BS VIB-03A. Dle ČSN EN 196-1 a ČSN EN 459-2 je vibrační stůl nastaven na nominální dobu vibrace 2 min s amplitudou 0,75 mm.

- **Zatěžovací lis**

Zkoušení pevností probíhalo na zatěžovacím lisu. Při zkoušení pevnosti v tahu za ohybu bylo rozpětí lisu nastaveno na 10 kN s přesností $\pm 0,05$ kN. Pro zkoušení pevnosti v tlaku zkušebních těles (20 x 20 x 100) mm bylo rozpětí lisu 40 kN s přesností $\pm 0,2$ kN, pro tělesa o rozměrech (40 x 40 x 160) mm pak 200 kN s přesností ± 1 kN.

- **Difraktograf pro provedení XRD analýzy**

Rentgenová difrakční analýza XRD byla provedena na difraktografu firmy PANalytical s detektorem PIXcel3D.

Parametry měření:

- Záření Cu K-alpha
- Vlnová délka 1.54184 Å
- Napětí (kV)/Proud (mA): 45/40
- Liniový scan, Režim 1D
- Rozsah měření 5,0 – 45,0 °2Theta
- Velikost kroku 0,0131°

15 POUŽITÉ SUROVINY

Pro účely měření v experimentální části byly pozorované vzorky vyrobeny ze surovin popsanych níže.

- **Přírodní anhydrit CaSO_4**

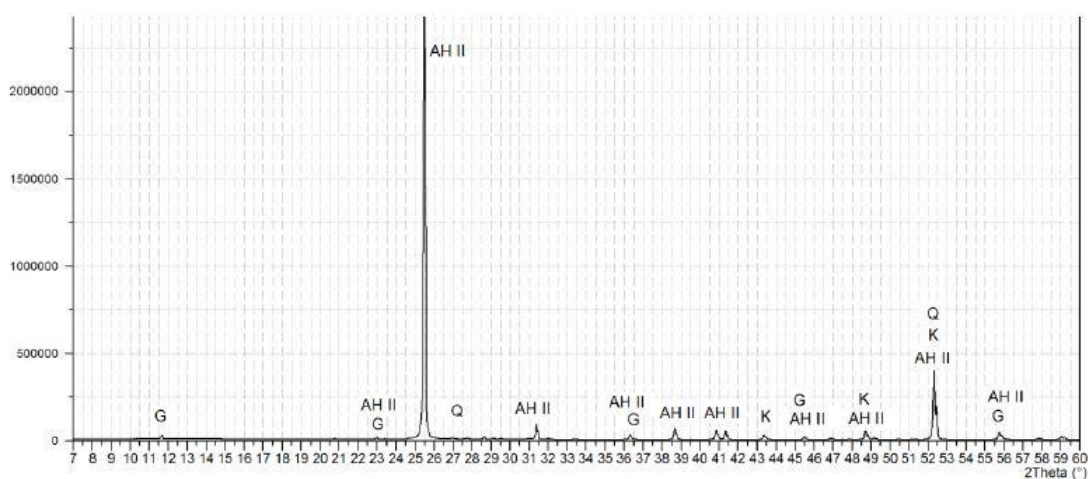
Základní surovinou pro experimentální část byl přírodní anhydrit těžený v Polsku, který byl dodán formou Morfico.

Obsah prvků ve zkoušeném anhydritu podle kvantitativní fázové analýzy Rietveld:

90,0 % ... A II / N (nerozpustný anhydrit II)

5,7 % ... $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (sádrovec)

3,4 % ... CaCO_3 (kalcit)



Obr.9: Rentgenogram zkoušeného anhydritu

V rentgenogramu lze vidět zastoupení následujících minerálů:

AH II – anhydrit II ($d_{hkl}=3,49; 2,85; 2,33 \text{ \AA}$)

G – sádrovec ($d_{hkl}=7,56; 4,27; 3,79 \text{ \AA}$)

K – kalcit ($d_{hkl}=3,86; 3,035 \text{ \AA}$)

Q – křemen ($d_{hkl}=4,21; 3,36 \text{ \AA}$)

- **Portlandský cement**

Byl použit portlandský cement CEM I 42,5 R dodávaný společností Heidelberg Cement Group ze závodu Mokrá. Portlandský cement měl funkci budící přísady a byl dávkován v množství 4 % z hmotnosti anhydritového pojiva.

- **Síran sodný**

Použitý bezvodý síran sodný Na_2SO_4 byl dodán společností PENTA Chrudim, byl v práškové formě, přičemž čistota p.a., min. obsah Na_2SO_4 99,0 %. Síran sodný byl dávkován v množství 1 % z hmotnosti anhydritového pojiva a sloužil jako budící přísada.

- **Kamenivo**

Bylo pracováno s normalizovaným křemičitým pískem CEN EN 196-1 firmy Filtrační písky. Obsah oxidu křemičitého je u těchto písků minimálně 98 %. Hmotnost jednoho balení (1350 ± 5) g.

- **Plastifikační přísady Sika ViscoCrete**

Byly zkoušeny následující práškové plastifikační přísady společnosti Sika: Sika ViscoCrete 225 P, 510 P a 520 P. Ve všech případech se jedná o bílý prášek na bázi modifikovaného polykarboxylatu. Dávkování udávané výrobcem je pro všechny typy těchto plastifikátorů v rozmezí 0,05 až 0,5 % z hmotnosti pojiva. Příklad 225 P je výrobcem určena jako zvláště vhodná pro výrobu suchých betonových směsí, zároveň je však uvedeno, že se hodí i pro sádrové a anhydritové stěrky. Typ 510 P je vhodný pro stěrky a samonivelační potěry na síranové i cementové bázi. U přísady 520P je pak uváděno, že se hodí pro samonivelační síranové stěrky. Při předávkování přísad může dojít ke krvácení směsí, či zpomalení tvrdnutí.

- **Plastifikační přísada Melment**

Byla použita prášková plastifikační přísada společnosti BASF: Melment F 17 G. Tento plastifikátor je založen na bázi sulfonovaného polykondenzačního produktu melaminu. Prášek má bílou nebo slabě šedou barvu a výrobce doporučuje dávku 0,2 až 2 % z hmotnosti pojiva. Tato přísada je primárně určena pro pojiva na bázi síranu vápenatého.

- **Odpěňovací přísada**

Bylo použita prášková odpěňovací přísada Agitan P 801 společnosti Munzing. Jedná se o bílý prášek, který je směsí kapalných uhlovodíků a polyglykolu na organickém nosiči. Doporučená dávka této přísady uvedená výrobcem je v rozmezí 0,1 až 1 % z hmotnosti celé suché směsi.

16 VYHODNOCENÍ

V jednotlivých etapách experimentu jednotlivých bylo provedeno zpracování naměřených hodnot, které byly následně vyhodnoceny a srovnány.

16.1 ETAPA I: Zkoušky prováděné na anhydritových pastách

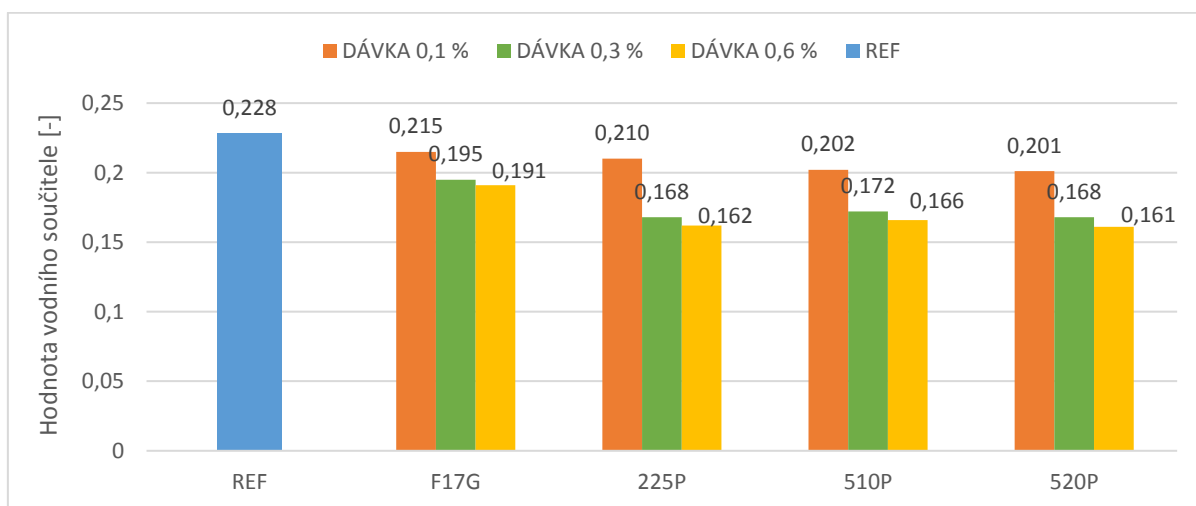
Etapa I byla rozdělena na zkoušení čerstvých a následné zkoušení zatvrdlých anhydritových past.

- **Čerstvé anhydritové pasty**

Přehled dosahovaných technologických parametrů čerstvých anhydritových past je uveden v tab.11, grafické znázornění je provedeno v grafu 1 na následující straně.

Tab.11: Vlastnosti čerstvých anhydritových past

typ plastifikační přísady	množství plastifikační přísady [%]	vodní součinitel w [-]	snížení dávky vody [%]	vzdálenost dle Vicata [mm]	počátek tuhnutí [hod:min]
REF	/	0,228	0,00	6	1:05
F17G	0,1	0,215	5,70	6	2:05
	0,3	0,195	14,47	7	2:15
	0,6	0,191	16,23	6	3:10
225P	0,1	0,210	7,89	5	1:25
	0,3	0,168	26,32	7	>7:00
	0,6	0,162	28,95	7	>7:00
510P	0,1	0,202	11,40	6	1:55
	0,3	0,172	24,56	5	5:15
	0,6	0,166	27,19	5	>7:00
520P	0,1	0,201	11,84	7	4:55
	0,3	0,168	26,32	7	>7:00
	0,6	0,161	29,39	5	>7:00



Graf 1: Závislost vodního součinitele na druhu a množství plastifikační přísady

V grafu zobrazujícím vliv množství plastifikační přísady na hodnotu vodního součinitele můžeme vidět tendenci snižování vodního součinitele se zvyšující se dávkou plastifikátorů. Hodnota vodního součinitele referenční pasty byla $w=0,228$.

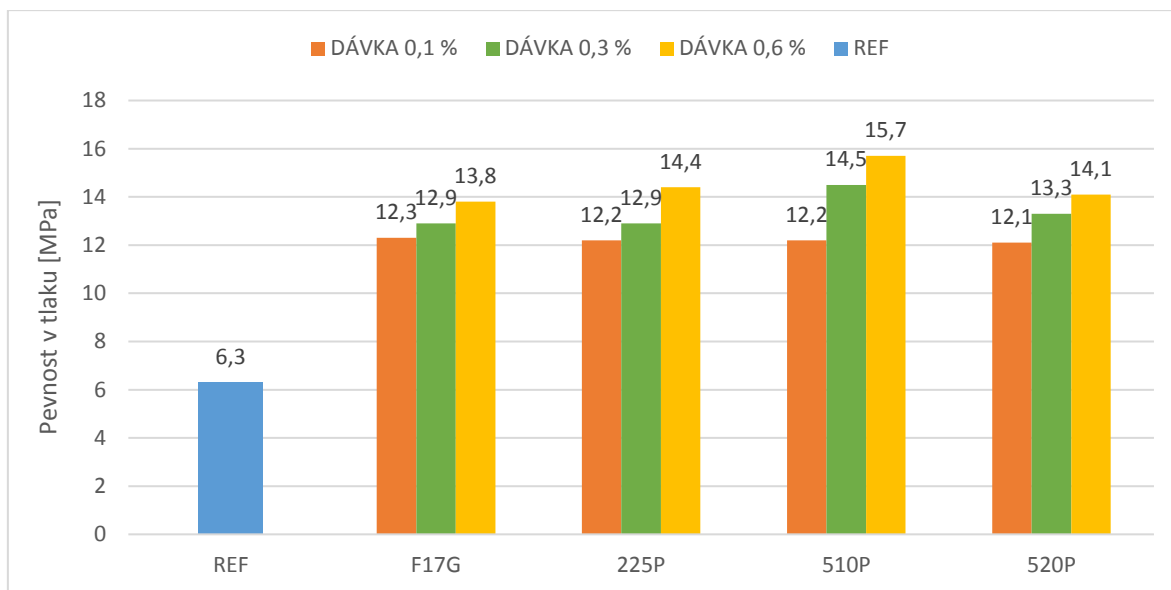
Ke znatelnějšímu snížení vodního součinitele dochází v dávkách plastifikátorů v množství 0,3 % a 0,6 % z hmotnosti pojiva. V poměru dávky a účinnosti plastifikátoru, se pak nejlépe jeví dávka 0,3 %, při této dávce docházelo u plastifikátorů 225P, 510P a 520P k průměrnému snížení dávky záměsové vody (oproti referenční pastě) o 25,7 %. U plastifikátoru F17G došlo při stejné dávce ke snížení dávky vody o 14,5 %. Nejnížší vodní součinitel ze všech zkoušených past měla směs s 520P v dávce 0,6 %, a to $w=0,161$, tedy o 29,39 % nižší než u směsi referenční. Se zvyšující se dávkou plastifikátorů docházelo také k prodlužování počátku tuhnutí past. U přísad řady ViscoCrete v dávkách 0,3 % a 0,6 % byl tento retardační účinek velmi výrazný. Měření počátku tuhnutí bylo ukončeno po 7 hodinách, přičemž v této době tuhnutí u zmiňovaných vzorků nenastalo.

- **Zatvrdlé anhydritové pasty**

Přehled dosahovaných technologických parametrů zatvrdlých anhydritových past po 3 dnech uložení je uveden v tab.12 a zobrazen v grafu 2.

Tab.12: Vlastnosti anhydritových past po 3 dnech

typ plastifikační přísady	množství plastifikační přísady [%]	vodní součinitel w [-]	objemová hmotnost [kg/m^3]	pevnost v tahu za ohybu [MPa]	pevnost v tlaku [MPa]
REF	/	0,228	2090	1,3	6,3
F17G	0,1	0,215	2040	2,4	12,3
	0,3	0,195	2160	2,5	12,9
	0,6	0,191	2140	2,7	13,8
225P	0,1	0,210	2050	2,5	12,2
	0,3	0,168	2020	2,8	12,9
	0,6	0,162	2000	3,2	14,4
510P	0,1	0,202	2180	2,9	12,2
	0,3	0,172	2090	3,5	14,5
	0,6	0,166	2080	4,0	15,7
520P	0,1	0,201	2110	2,5	12,1
	0,3	0,168	2000	2,9	13,3
	0,6	0,161	1990	3,2	14,1



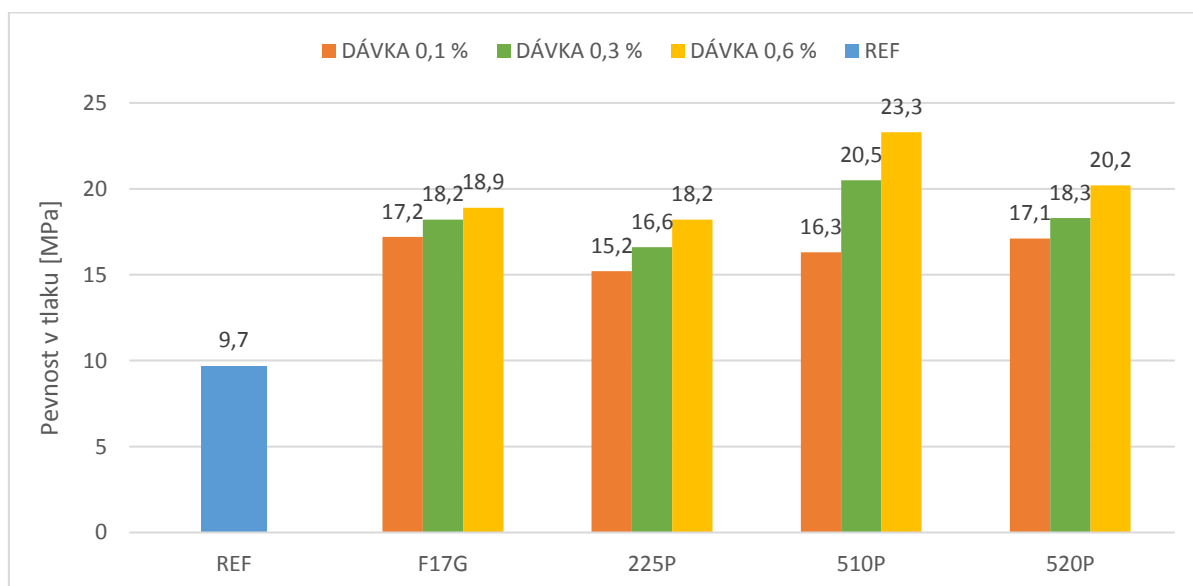
Graf 2: Anhydritové pasty-pevnosti v tlaku po 3 dnech

Ve výše zobrazeném grafu můžeme pozorovat pravidelné zvyšování pevností v tlaku se zvyšující se dávkou plastifikačních přísad. Nejvyšší hodnoty pevnosti v tlaku dosahovala pasta s plastifikátorem 510 P v množství 0,6 %, a to 15,7 MPa, což je 59,9% nárůst oproti referenčnímu vzorku, jehož pevnost byla 6,3 MPa. Je však nutno podotknout, že v dávce 0,3 % u stejného plastifikátoru dosahovala pevnost v tlaku pasty hodnoty 14,5 MPa, čemuž odpovídá 56,6% nárůst pevnosti v porovnání s referenčním vzorkem. Při zdvojnásobení dávky přísady tedy došlo ke zvýšení pevnosti pouze o 3,3 %.

Přehled dosahovaných technologických parametrů zatvrdlých anhydritových past po 28 dnech uložení je uveden v tab.13 a graficky znázorněno v grafu 3 na následující straně.

Tab.13: Vlastnosti anhydritových past po 28 dnech

typ plastifikační přísady	množství plastifikační přísady [%]	vodní součinitel w [-]	snížení dávky vody [%]	objemová hmotnost [kg/m ³]	pevnost v tahu za ohybu [MPa]	pevnost v tlaku [MPa]
REF	/	0,228	0,0	1970	2,2	9,7
F17G	0,1	0,215	5,7	2010	3,5	17,2
	0,3	0,195	14,5	2090	3,9	18,2
	0,6	0,191	16,2	2030	4,2	18,9
225P	0,1	0,210	7,9	2000	3,6	15,2
	0,3	0,168	26,3	1940	3,9	16,6
	0,6	0,162	28,9	1940	4,2	18,2
510P	0,1	0,202	11,4	2110	4,5	16,3
	0,3	0,172	24,6	2030	5,3	20,5
	0,6	0,166	27,2	2000	5,6	23,3
520P	0,1	0,201	11,8	2040	4,3	17,1
	0,3	0,168	26,3	1970	4,8	18,3
	0,6	0,161	29,4	1960	5,1	20,2



Graf 3: Anhydritové pasty-pevnosti v tlaku po 28 dnech

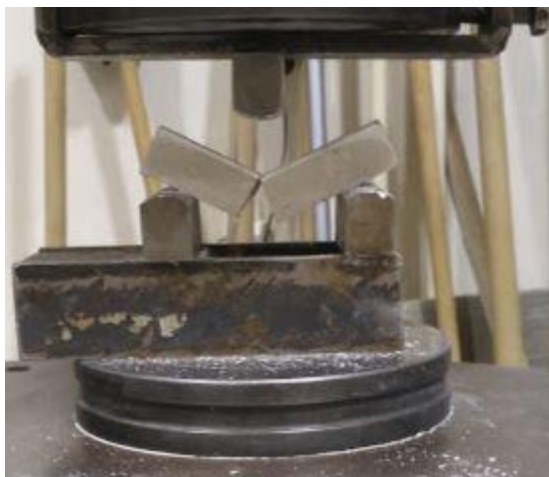
Po 28 dnech zrání zkušebních těles opět docházelo ke zvyšování pevností v tlaku se zvyšující se dávkou plastifikátoru.

Pevnost referenčního vzorku byla 9,7 MPa. U směsi v 510P v dávce 0,6 % došlo k nárůstu této hodnoty o 58,4 % na hodnotu 23,3 MPa. U této přísady byl také zaznamenán nejvyšší nárůst pevnosti, co se týče zvyšování pevností v rámci jedné přísady v závislosti na jejím dávkovaném množství. Mezi dávkou 0,1 % a 0,3 % došlo ke zvýšení pevnosti o 12,3 %, mezi dávkou 0,3 % a 0,6 % bylo toto zvýšení už jen o 5,7 %.

Srovnávací vzorek s přísadou F17G dosahoval v dávce 0,6 % pevnosti 18,9 MPa, čemuž odpovídá nárůst pevnosti o 43,6 % vzhledem k referenční směsi. Toto zvýšení je o 14,8 % nižší než nárůst u směsi s 510P ve stejné dávce. Nárůst pevností mezi jednotlivými dávkami byl u tohoto vzorku průměrně 2,6 %.

Vzorek modifikovaný přísadou 225P v dávce 0,6 % vykazoval nárůst pevnosti z referenčních 9,7 MPa na 18,2 MPa, došlo tedy k 46,7% nárůstu, rozdíl pevností mezi jednotlivými dávkami byl průměrně 5,3 %. U přísady 520P v dávce 0,6 % byl tento nárůst 51,9 % a rozdíl mezi jednotlivými dávkami byl průměrně 4,3 %.

Zkoušení pevností v tahu za ohybu a pevností v tlaku anhydritových past je zachyceno na následujících fotografiích viz obr 10 a 11.

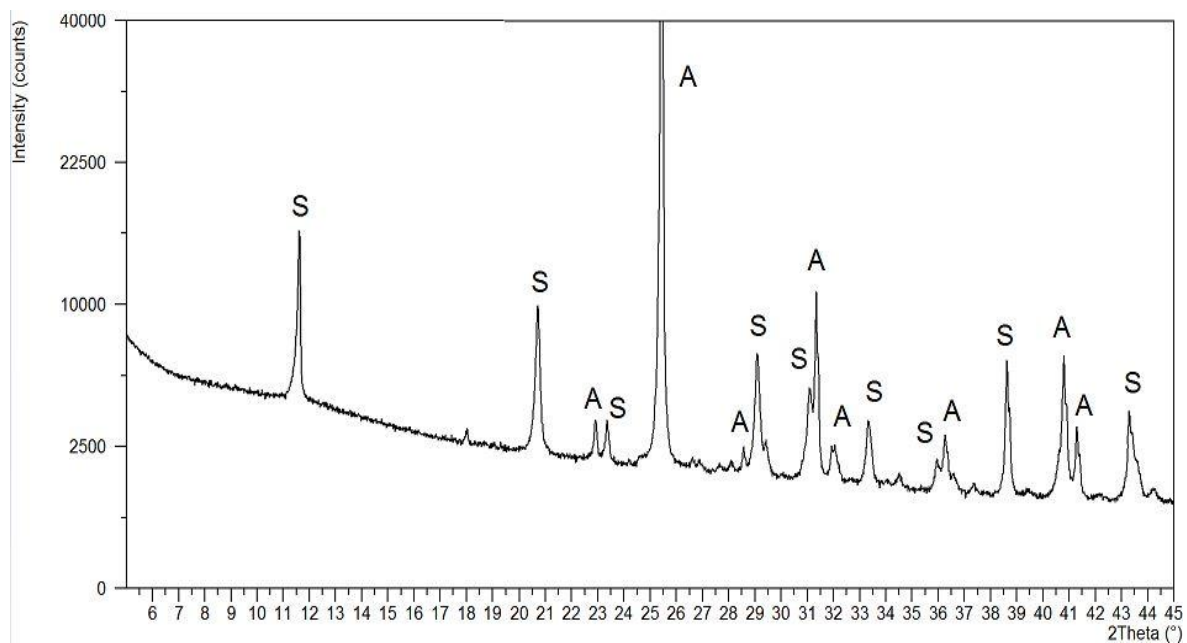


Obr.10: Zkouška pevnosti v tahu za ohybu

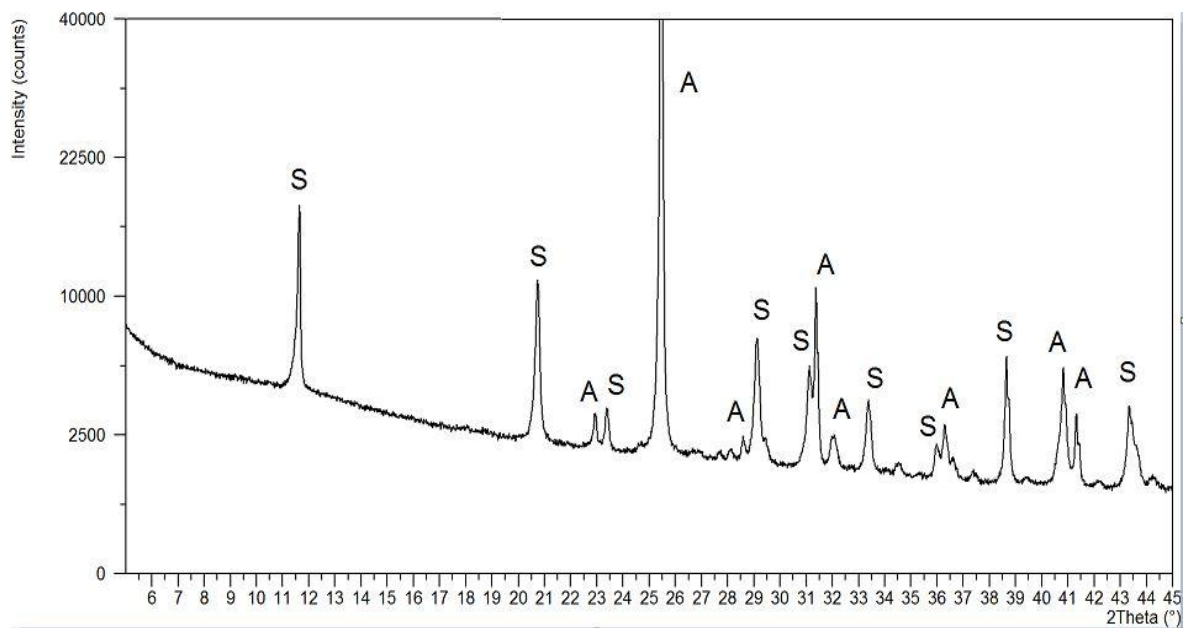


Obr.11: Zkoušení pevnosti v tlaku

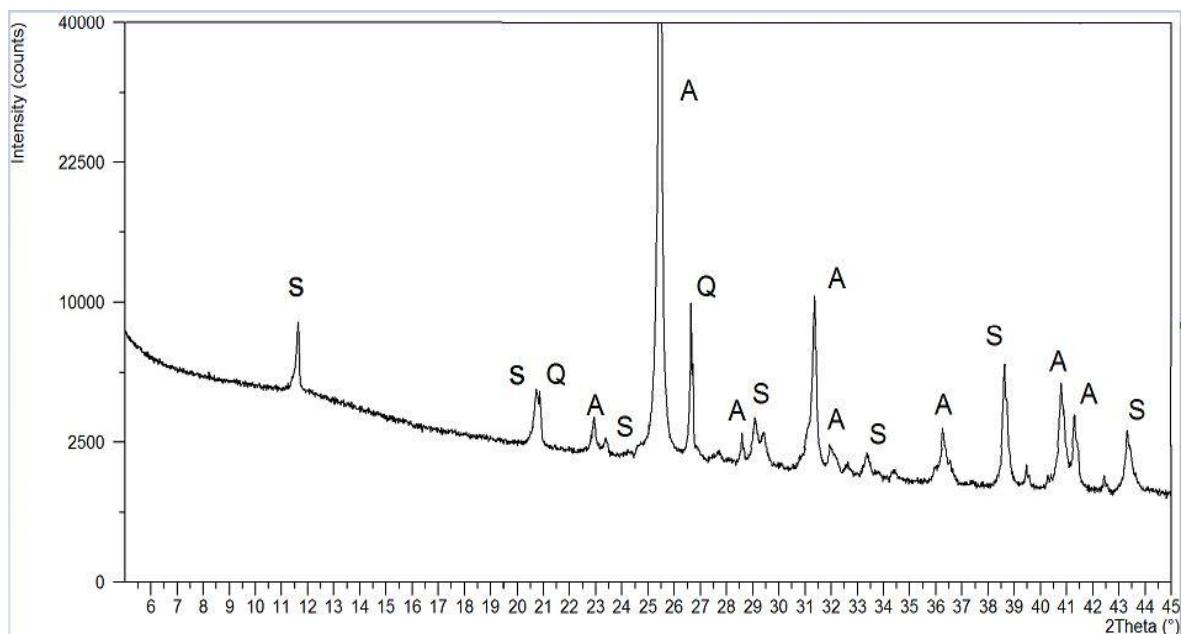
Poslední částí zkoušení zatvrdlých anhydritových past bylo provedení mineralogického rozboru hydratovaných vzorků po 28 dnech, u kterých byly použity plastifikační přísady v množství 0,3 %. Byla použita metoda XRD analýzy, jejíž dokumentace je zobrazena na obr. 12 až 16. Vyhodnocení rentgenogramů bylo provedeno pomocí programu HighScore Plus.



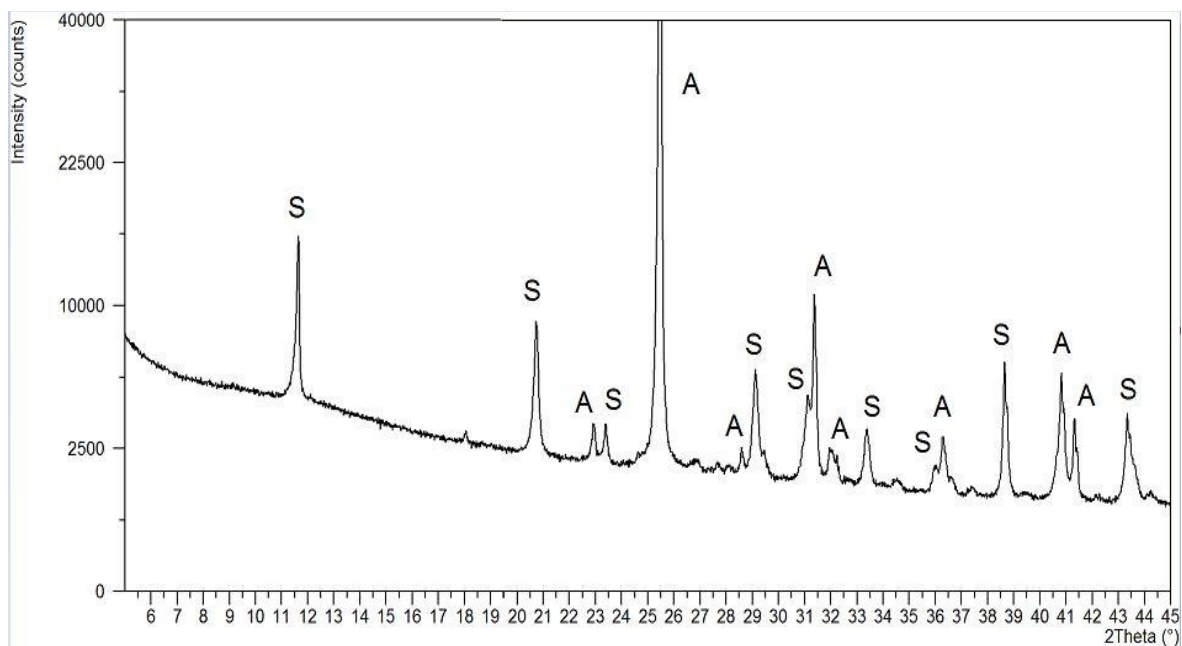
Obr.12: Rentgenogram referenčního vzorku anhydritu



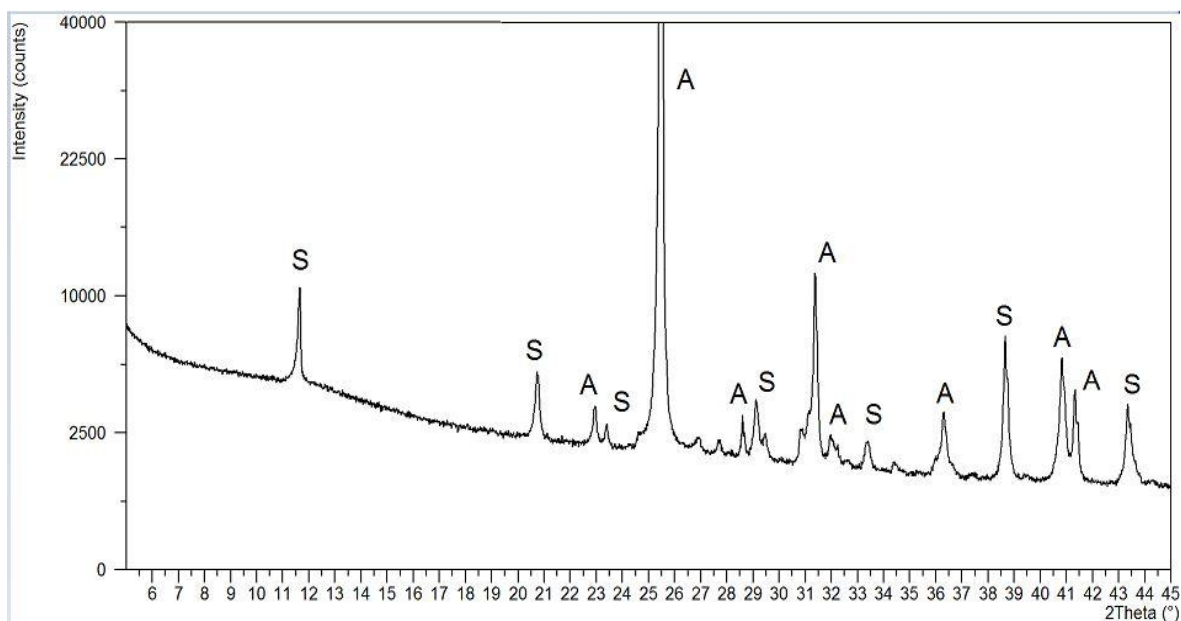
Obr.13: Rentgenogram vzorku anhydritu s přísávkem F17G v dávkce 0,3 %



Obr.14: Rentgenogram vzorku anhydritu s přídavkem 225 P v dávce 0,3 %



Obr.15: Rentgenogram vzorku anhydritu s přídavkem 510 P v dávce 0,3 %



Obr.16: Rentgenogram vzorku anhydritu s přídávkem 520 P v dávce 0,3 %

V rentgenogramech vzorků byly identifikovány tyto minerály:

- S - sádrovec, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, číslo karty ICDD 00-021-0816
- A - anhydrit II, CaSO_4 , číslo karty ICDD 01-072-0503
- Q – křemen, SiO_2 , číslo karty ICDD 00-046-1045

Ve výše uvedených XRD záznamech byly identifikovány dominantní fáze dvou minerálů, anhydritu a sádrovce. S přihlédnutím k poměrům difrakčních linií těchto minerálů lze říci, že průběh hydratace byl v podstatě stejný. Jediná významná odchylka byla pozorována u vzorku 225 P, kde vedle zmiňovaných minerálů byly také identifikovány difrakční linie křemene – bazální pík na 4,255 Å a na 3,343 Å. Přítomnost křemene byla zřejmě způsobena kontaminací vzorků při předúpravě před měřením.

Jelikož XRD analýza slouží ke kvalitativnímu stanovení mineralogického složení testovaných vzorků, nelze proto na základě průběhu rentgenogramů kvantifikovat míru hydratace anhydritu.

16.2 ETAPA II: Zkoušky prováděné na anhydritových maltách

A) Anhydritové malty s konstantní dávkou vody 225 ml

Vzorky byly v této části experimentu míchány s konstantní dávkou vody 225 ml bez ohledu na rozlití čerstvé malty.

- Čerstvé anhydritové malty

Přehled dosahovaných technologických parametrů čerstvých anhydritových malt je uveden v tab.14.

Tab.14: Vlastnosti čerstvých anhydritových malt

typ plastifikační přísky	množství plastifikační přísky [%]	vodní součinitel w [-]	průměr setřeseného rozlití koláče [mm]
REF	/	0,333	154
F17G	0,1	0,333	183
	0,3	0,333	255
225P	0,1	0,333	238
	0,3	0,333	>280
510P	0,1	0,333	199
	0,3	0,333	>280
520P	0,1	0,333	241
	0,3	0,333	>280

Rostoucí dávka plastifikátorů zapříčiňovala zvětšení rozlití směsí. Vzorky modifikované plastifikátory řady ViscoCrete dosahovaly v dávce 0,3 % rozlivu většího, než byl průměr zkušební desky, což je hodnota o 81,8 % vyšší oproti rozlití referenční směsi. V dávce 0,1 % došlo k největšímu rozlití u směsí s 225P a 520 P, průměrné zvýšení hodnoty rozlivu zde bylo 55,5 %. U přísady F17G docházelo ke srovnatelnému zvýšení, tedy 65,6 % až při zvýšení dávky plastifikátoru na 0,3 %.

Bylo možno pozorovat, že s přidavkem plastifikátorů 225 P, 510 P a 520 P v dávce 0,3 % docházelo k odměšování vody, tzv. bleedingu. Na povrchu malt se voda oddělovala až v 3mm vrstvě. Malty byly velmi tekuté a nesoudržné. U vzorků malt

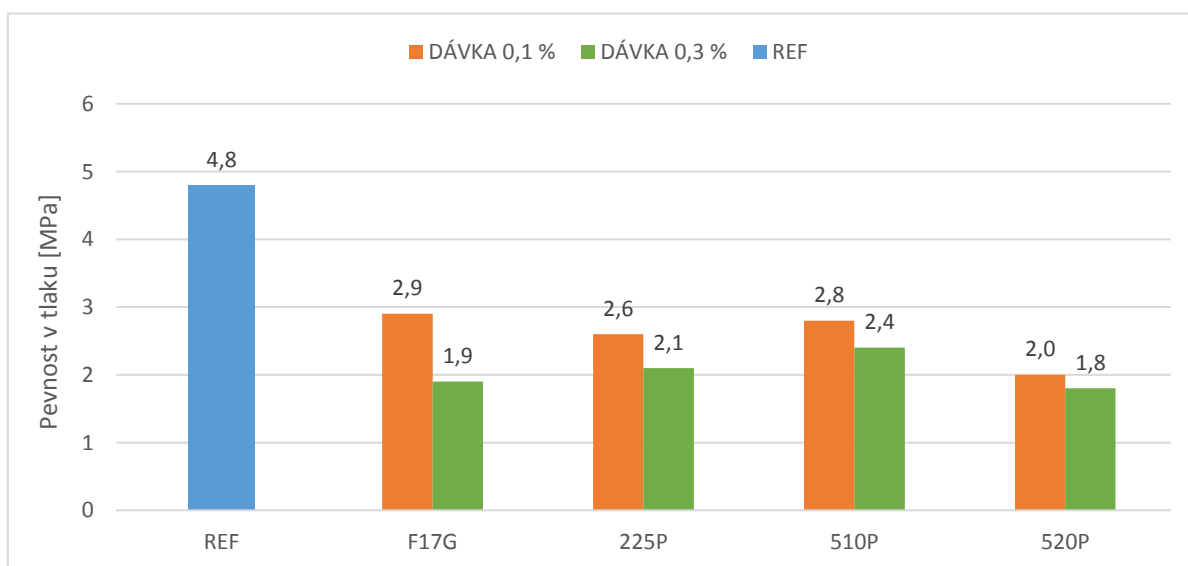
namíchaných s plastifikační přísadou F17G nedocházelo k výraznému odměšování vody a tyto malty byly dostatečně soudržné.

- **Zatvrdlé anhydritové malty**

Přehled dosahovaných technologických parametrů malt po 3 dnech zrání je uveden v tab.15 a graficky znázorněn v grafu 4.

Tab.15: Vlastnosti zatvrdlých anhydritových malt po 3 dnech

typ plastifikační přísady	množství plastifikační přísady [%]	vodní součinitel w [-]	objemová hmotnost [kg/m ³]	pevnost v tahu za ohybu [MPa]	pevnost v tlaku [MPa]
REF	/	0,333	2390	1,6	4,8
F17G	0,1	0,333	2170	1,0	1,9
	0,3	0,333	2140	1,5	2,9
225P	0,1	0,333	2190	1,1	2,6
	0,3	0,333	1930	0,9	2,1
510P	0,1	0,333	2170	1,1	2,8
	0,3	0,333	1890	0,8	2,4
520P	0,1	0,333	2150	1,0	2,0
	0,3	0,333	1950	1,0	1,8



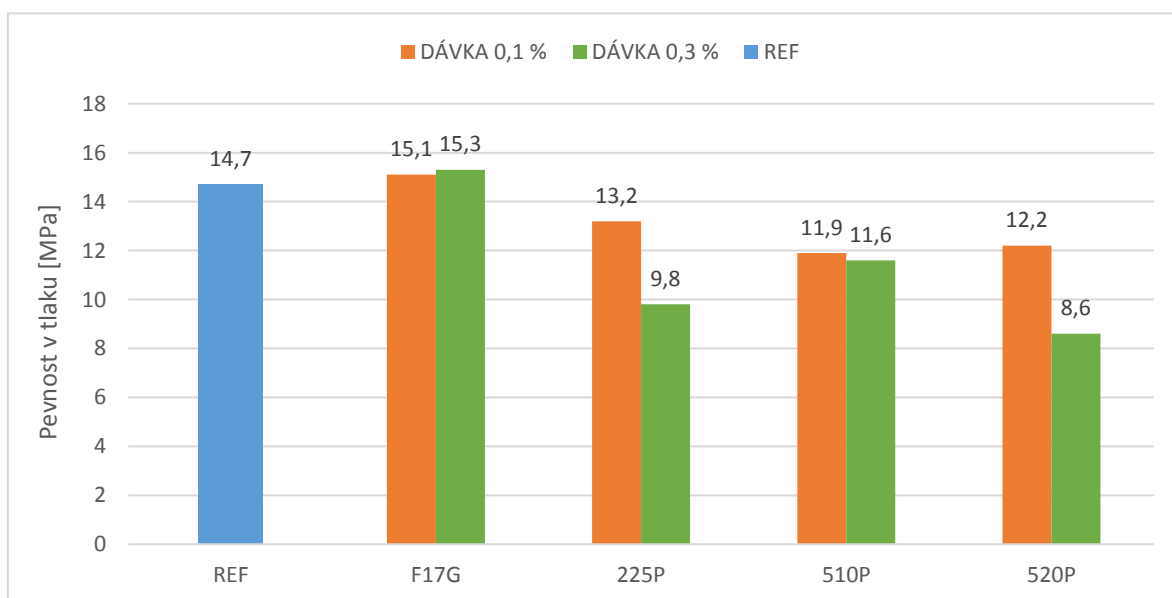
Graf 4: Anhydritové malty s konstantní dávkou vody 225 ml-pevnosti v tlaku po 3 dnech

Vzhledem k výše zmiňovanému odměšování vody, bylo u vzorků s konstantním množstvím vody možno pozorovat snižování pevností se zvyšující se dávkou plastifikátorů. Referenční směs nabyla pevnosti v tlaku 4,8 MPa. Celkově nebyla u směsí modifikovaných plastifikátory dosažena pevnost v tlaku vyšší než 2,9 MPa, což je pevnost o 39,6 % nižší, než byla pevnost v tlaku referenční směsi.

Dosahované technologické parametry malt ve stáří 28 dnů jsou uvedeny v tab.16 a graficky znázorněny v grafu 5.

Tab.16: Vlastnosti zatvrdlých anhydritových malt po 28 dnech

typ plastifikační přísady	množství plastifikační přísady [%]	vodní součinitel w [-]	objemová hmotnost [kg/m ³]	pevnost v tahu za ohybu [MPa]	pevnost v tlaku [MPa]
REF	/	0,333	2160	3,8	14,7
F17G	0,1	0,333	2170	3,2	15,1
	0,3	0,333	2150	3,5	15,3
225P	0,1	0,333	2100	3,4	13,2
	0,3	0,333	2000	2,8	9,8
510P	0,1	0,333	2140	3,3	11,9
	0,3	0,333	2030	2,8	11,6
520P	0,1	0,333	2100	2,9	12,2
	0,3	0,333	2070	2,6	8,6



Graf 5: Anhydritové malty s konstantní dávkou vody 225 ml-pevnosti v tlaku po 28 dnech

Referenční vzorek měl po 28 dnech pevnost v tlaku 14,7 MPa. Nejnižší hodnota pevnosti v tlaku byla zjištěna u plastifikační přísady 520P v dávce 0,3 %, a to 8,6 MPa, což znamená 41,5% pokles pevnosti, v dávce 0,1 % byl tento pokles 17,0 %.

Nejvyšší hodnoty v obou dávkách vykazovaly srovnávací směsi s F17G. Jako u jediných došlo u těchto vzorků ke zvýšení pevnosti oproti referenční směsi. V dávce 0,1 % byla pevnost v tlaku vzorku 15,1 MPa, v dávce 0,3 % pak 15,3 MPa. Průměrný nárůst pevností byl tedy u těchto vzorků 3,4 %.

U vzorků s přísadou 510P došlo ke snížení pevnosti oproti referenční směsi. V dávce 0,1 % na 11,9 MPa a v dávce 0,3 % na 11,6 MPa. Tyto hodnoty se lišily jen mírně, průměrný pokles obou dávek byl 20,1 %. Směsi s přídavkem plastifikátoru 225P vykazovaly pokles oproti referenční směsi, přičemž rozdíl tohoto snížení byl mezi jednotlivými dávkami 23,1 %. V dávce 0,1 % došlo ke snížení pevnosti oproti referenčnímu vzorku bylo v dávce o 10,2 %, v dávce 0,3 % byl tento pokles 33,3 %.

B) Anhydritové malty s konstantní hodnotou setřesení (150 ± 5) mm

V této části byly míchány malty na konstantní hodnotu rozlití 150 mm. Docházelo tedy k úpravě dávky vody (redukci w) v závislosti na dávce plastifikátorů.

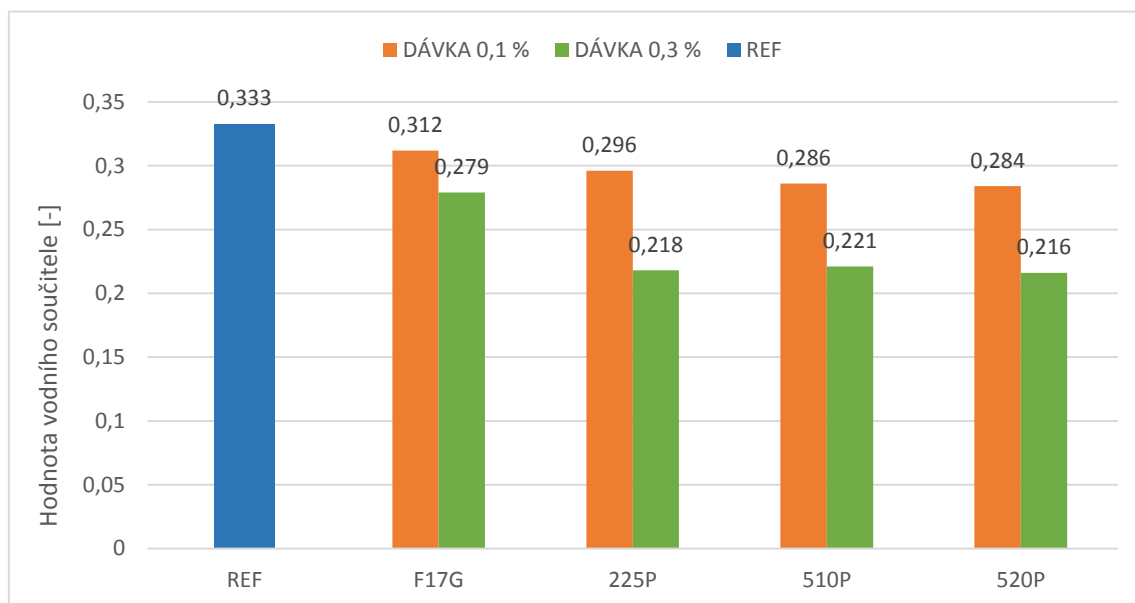
- **Čerstvé anhydritové malty**

Dosahované technologické vlastnosti čerstvých malt jsou uvedeny v tab.17.

Tab.17: Vlastnosti čerstvých anhydritových malt

typ plastifikační přísady	množství plastifikační přísady	vodní součinitel w [-]	snížení dávky vody [%]	průměr koláče rozlití [mm]
REF	0,0	0,333	0,00	154
F17G	0,1	0,312	6,48	151
	0,3	0,279	16,30	153
225P	0,1	0,296	11,11	154
	0,3	0,218	34,67	151
510P	0,1	0,286	14,22	149
	0,3	0,221	33,78	154
520P	0,1	0,284	14,67	153
	0,3	0,216	35,11	147

Grafické znázornění hodnot vodního součinitele referenčních a modifikovaných směsí je uvedeno v grafu 6.



Graf 6: Závislost vodního součinitele na druhu a množství plastifikační přísady

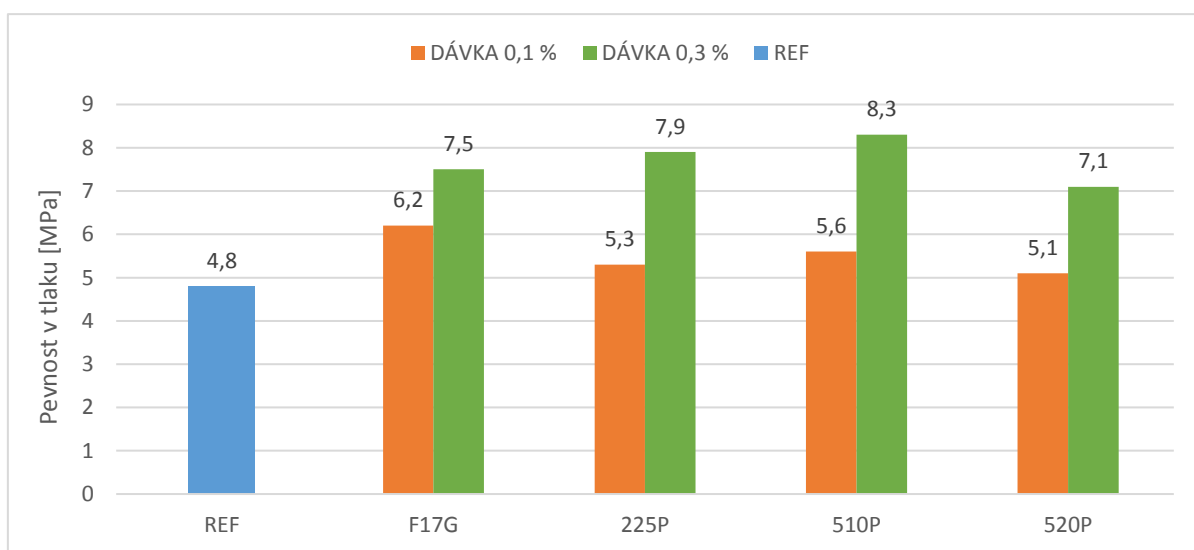
K nejvýraznějšímu poklesu vodního součinitele oproti referenci došlo u plastifikátoru 520P v dávce 0,3 %, a to na hodnotu 0,216, pokles této hodnoty byl tedy 35,1 %. Celkově plastifikátory 225P, 510P a 520P snižovaly hodnotu vodního součinitele velmi podobně. V dávce 0,1 % docházelo ke snížení na hodnoty 0,296 u 225 P, 0,286 u 510 P a 0,284 u plastifikátoru 520 P. Průměrně zde docházelo ke snížení dávky vody o 13,3 % oproti referenční směsi. U dávky 0,3 % bylo průměrné snížení dávky vody o 34,5 % oproti referenční. Nejmenší redukce vody byla zaznamenána u srovnávací přísady F17G, hodnota vodního součinitele pro dávku 0,1 % byla 0,312, což odpovídá snížení vodního součinitele o 6,3 %. V dávce 0,3 % došlo ke snížení o 16,2 % na hodnotu 0,279.

- **Zatvrdlé anhydritové malty**

Jednotlivé technologické vlastnosti malt po 3 dnech jsou uvedeny v tab.18 a znázorněny v grafu 7.

Tab.18: Vlastnosti zatvrdlých anhydritových malt po 3 dnech

typ plastifikační přísady	množství plastifikační přísady [%]	vodní součinitel w [-]	objemová hmotnost [kg/m ³]	pevnost v tahu za ohybu [MPa]	pevnost v tlaku [MPa]
REF	/	0,333	2390	1,6	4,8
F17G	0,1	0,312	2240	2,0	6,2
	0,3	0,279	2250	2,4	7,5
225P	0,1	0,296	2210	1,8	5,3
	0,3	0,218	2230	2,5	7,9
510P	0,1	0,286	2180	1,9	5,6
	0,3	0,221	2220	2,8	8,3
520P	0,1	0,284	2220	1,7	5,1
	0,3	0,216	2230	2,2	7,1



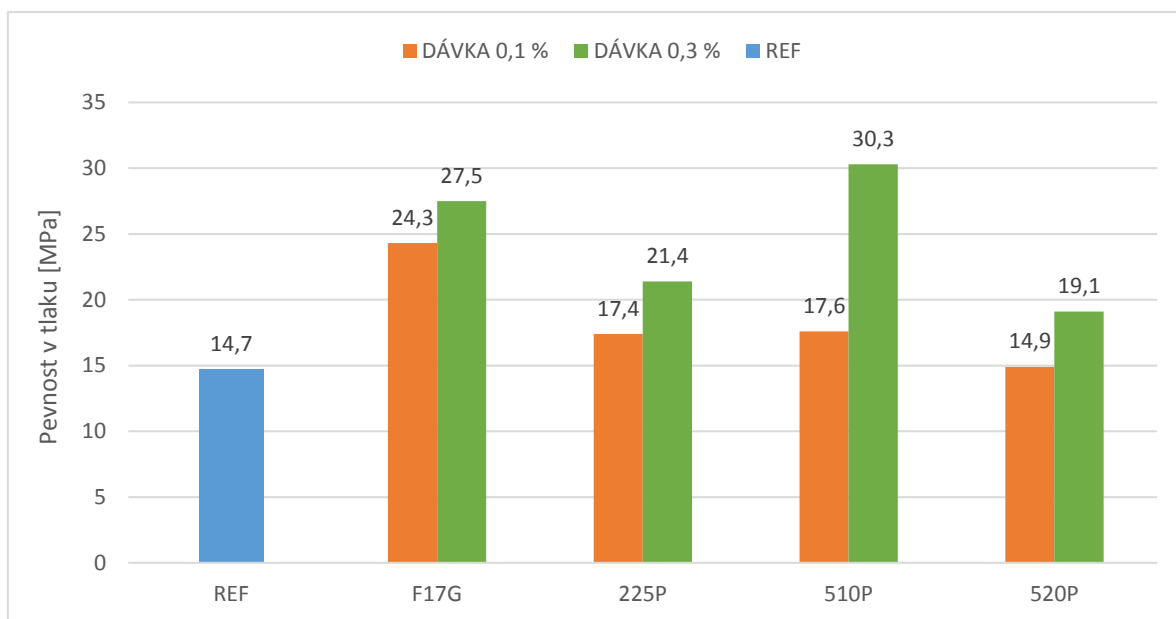
Graf 7: Anhydritové malty s konstantní dávkou setřesení (150 ± 5) mm-pevnosti v tlaku po 3 dnech

V grafu je možno pozorovat, že se zvyšující se dávkou plastifikátorů se zvyšují i pevnosti zkoušených vzorků. Pevnost v tlaku referenčního vzorku po 3 dnech byla 4,8 MPa. Přísada 510P v dávce 0,3 % dosáhla nejvyšší hodnoty, její pevnost v tlaku byla 8,3 MPa, tedy o 42,2 % vyšší oproti referenční pevnosti. Druhá nejvyšší hodnota pevnosti byla zjištěna u přísady 225 P v dávce 0,3 %, a to 7,9 MPa, což odpovídalo nárůstu pevnosti o 39,2 % v porovnání s referenčním vzorkem.

Dosahované technologické vlastnosti malt po 28 dnech jsou uvedeny v tab.19 a graficky znázorněny v grafu 8.

Tab.19: Vlastnosti zatvrdlých anhydritových malt po 28 dnech

typ plastifikační přísady	množství plastifikační přísady [%]	vodní součinitel w [-]	objemová hmotnost [kg/m ³]	pevnost v tahu za ohybu [MPa]	pevnost v tlaku [MPa]
REF	/	0,333	2160	3,8	14,7
F17G	0,1	0,312	2180	5,9	24,3
	0,3	0,279	2210	6,0	27,5
225P	0,1	0,296	2100	3,9	17,4
	0,3	0,218	2180	4,6	21,4
510P	0,1	0,286	2150	4,6	17,6
	0,3	0,221	2200	6,5	30,3
520P	0,1	0,284	2190	3,9	14,9
	0,3	0,216	2190	4,1	19,1



Graf 8: Anhydritové malty s konstantní dávkou setřesení (150 ± 5) mm-pevnosti v tlaku po 28 dnech

Pevnosti dosahované po 28 dnech dosahovaly vyšších hodnot v dávce plastifikátorů 0,3 % než v dávce 0,1 %. Referenční vzorky dosahovaly nejnižších hodnot ze všech zkoušených směsí.

Pevnost v tlaku byla u referenční směsi 14,7 MPa. K nejvyššímu nárůstu pevnosti došlo u vzorku s přísadou 510P v dávce 0,3 %, pevnost se zde zvýšila o 51,5 %. V dávce 0,1 % pevnost v porovnání s referenční směsí vzrostla o 15,5 % na hodnotu 17,6 MPa.

Zkušební tělesa modifikovaná srovnávacím plastifikátorem F17G dosahovala v dávce 0,1 % hodnot 24,3 MPa, což je pevnost o 39,5 % vyšší než referenční. Při dávkování této přísady v množství 0,3 % došlo k nárůstu pevnosti o 46,5 %. U této směsi byl rozdíl zvýšení pevnosti v dávkách 0,1 a 0,3 % nejmenší, a to 7 %.

Při použití přísady 225P byl u dávky 0,1 % zaznamenán 15,5% zvýšení pevnosti oproti směsi referenční. U dávky 0,3 % byl tento nárůst 31,3 %.

Celkově v obou dávkách dosahovaly nejnižších pevností směsi s 520 P. V dávce 0,1 % se projevilo ve srovnání s referenčním vzorkem zvýšení pevnosti pouze o 1,3 %. V dávce 0,3 % tohoto plastifikátoru dosahoval tento nárůst hodnoty 23,0 %.

Zkoušení pevností v tahu za ohybu a pevností v tlaku na zatvrdlých anhydritových maltách je zobrazena na následujících fotografiích viz obr. 17 a 18.



Obr. č.17: Zkouška pevnosti v tahu za ohybu



Obr. č.18: Zkouška pevnosti v tlaku

C) Anhydritové malty s konstantní hodnotou rozlivu (230 ± 5) mm

Ve třetí etapě byly míchány tekuté směsi, zkouška konzistence zde byla prováděna bez použití střešovacího stolku.

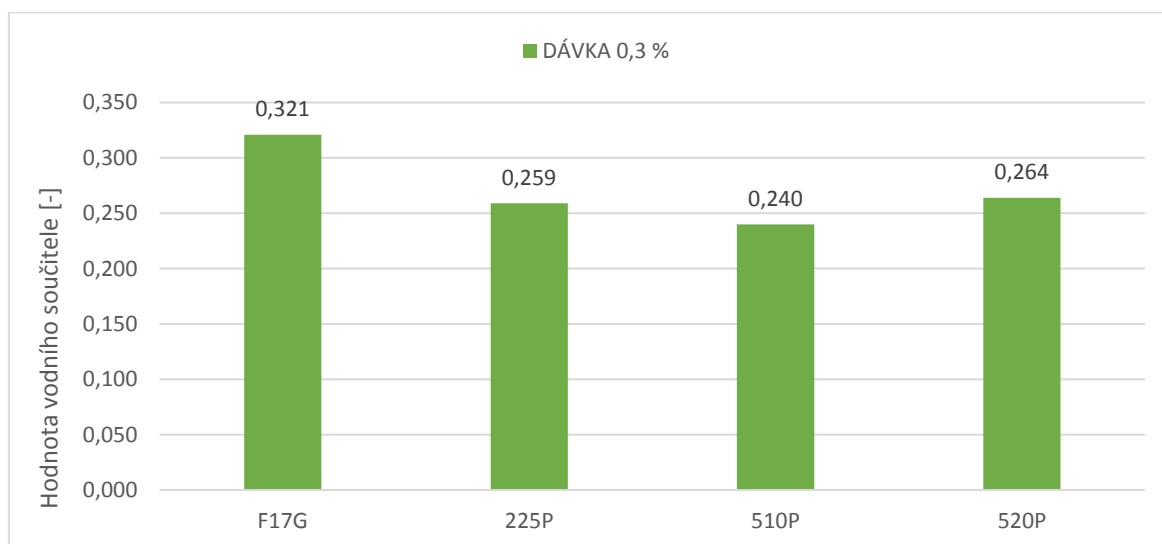
- **Čerstvé anhydritové malty**

Přehled dosahovaných technologických vlastností čerstvých anhydritových malt je uveden v tab.20.

Tab.20: Vlastnosti čerstvých anhydritových malt

typ plastifikační přísady	množství plastifikační přísady [%]	vodní součinitel w [-]	průměr koláče rozlití [mm]
F17G	0,3	0,321	235
225P	0,3	0,259	230
510P	0,3	0,240	230
520P	0,3	0,264	235

Hodnoty vodního součinitele připravovaných směsí jsou znázorněny v grafu 9.



Graf č.9: Závislost vodního součinitele na druhu a množství plastifikační přísady

V porovnání hodnot vodního součinitele vzorků s přísadami Viscocrete se srovnávacím vzorkem s F17G docházelo vždy k jejich poklesu. Nejvýraznější

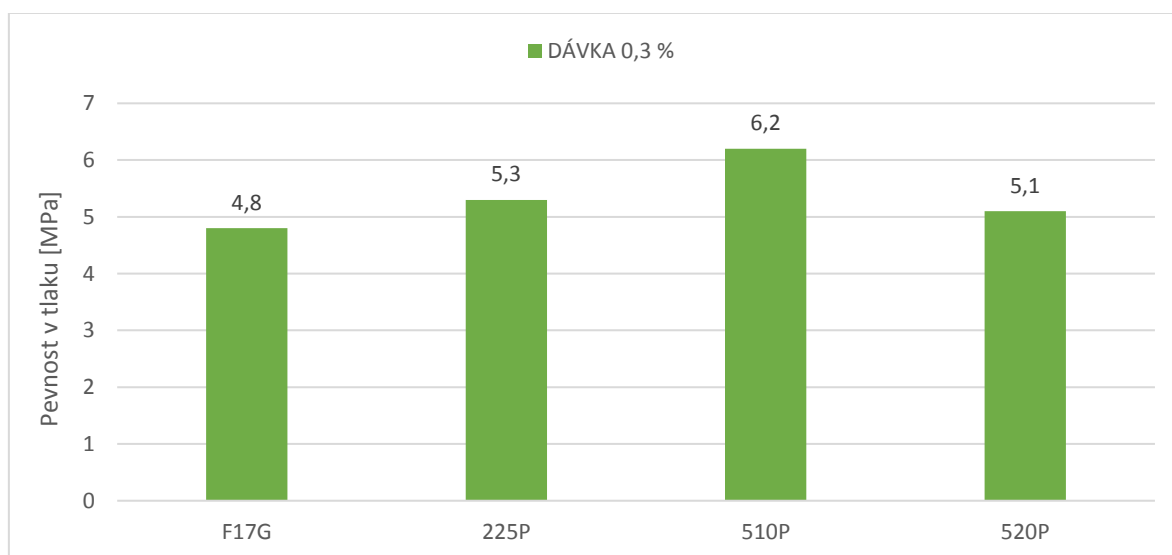
snížení nastal u vzorku s 510P, bylo 25,2 %. Pro vzorek s 225P bylo toto snížení 19,3 %, u vzorek s 520 P pak 17,8 %.

- **Zatvrdlé anhydritové malty**

Přehled dosahovaných technologických parametrů zatvrdlých anhydritových past po 3 dnech uložení je uveden v tab.21 zobrazen v grafu 10.

Tab.21: Vlastnosti zatvrdlých anhydritových malt po 3 dnech

typ plastifikační přísady	množství plastifikační přísady [%]	vodní součinitel w [-]	objemová hmotnost [kg/m ³]	pevnost v tahu za ohybu [MPa]	pevnost v tlaku [MPa]
F17G	0,3	0,321	2200	2,1	4,8
225P	0,3	0,259	2140	2,3	5,3
510P	0,3	0,240	2120	2,7	6,2
520P	0,3	0,264	2190	2,2	5,1



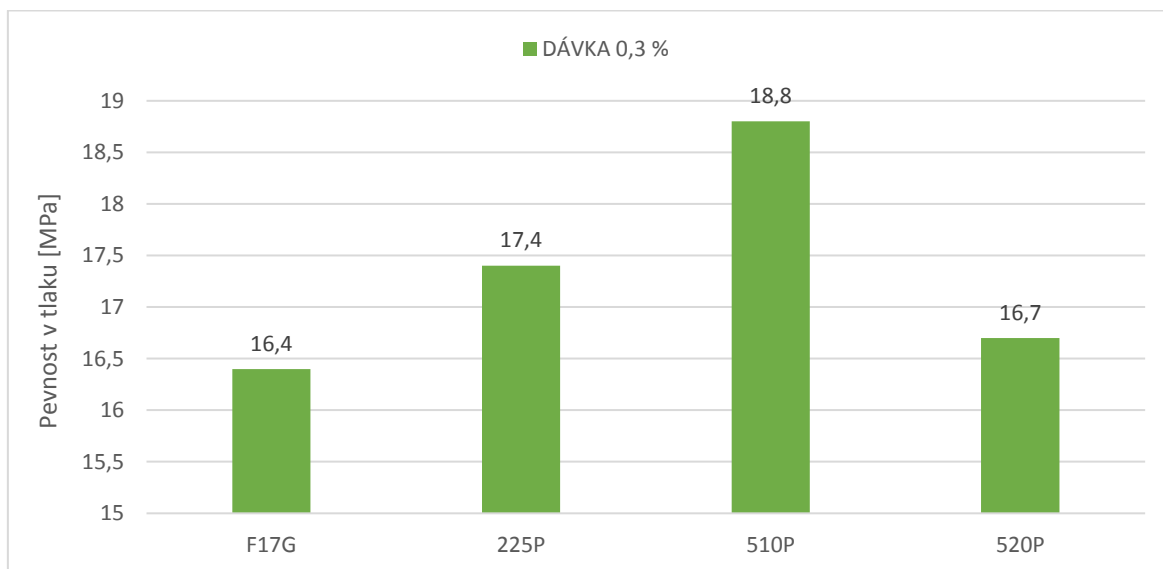
Graf 10: Anhydritové malty s konstantní dávkou rozlivu (230 ± 5) mm-pevnosti v tlaku po 3 dnech

Nejnižší pevnosti byly pozorovány u směsi s přísadou F17G. Nejvyšší nárůst pevnosti vykazovala směs s přísadou 510 P, hodnota se zvýšila o 29,2 %. Zvýšení u 225 P a 520 P bylo průměrně 10,1 %.

Vlastnosti malt po 28 dnech jsou shrnuty v tab.22 a zobrazeny v grafu 11.

Tab. č.22: Vlastnosti zatvrdlých anhydritových malt po 28 dnech

typ plastifikační přísady	množství plastifikační přísady [%]	vodní součinitel w [-]	objemová hmotnost [kg/m ³]	pevnost v tahu za ohybu [MPa]	pevnost v tlaku [MPa]
F17G	0,3	0,321	2150	3,6	16,4
225P	0,3	0,259	2100	4,2	17,4
510P	0,3	0,240	2080	4,6	18,8
520P	0,3	0,264	2160	3,7	16,7

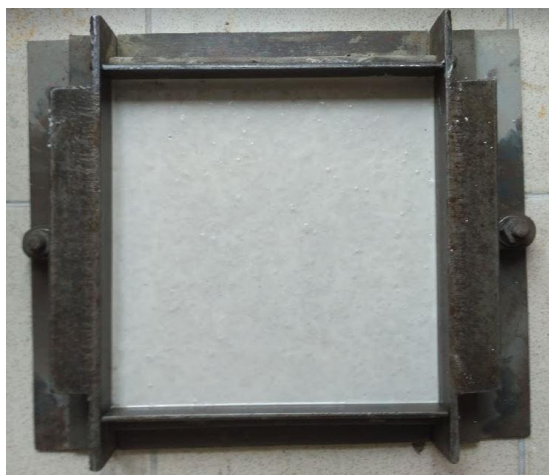


Graf 11: Anhydritové malty s konstantní dávkou rozlivu (230 ± 5) mm-pevnosti v tlaku po 28 dnech

Pevnost v tlaku po 28 dnech byla nejvyšší u vzorku s přísadou 510 P, a to 18,8 MPa, což je hodnota o 12,8 % vyšší než nejnižší pevnost v tlaku, která byla zjištěna u vzorku s F17 G. Vzorek s 225P měl pevnost vyšší o 5,7 %, u vzorku s 520P pak došlo jen k velmi nepatrnému nárůstu.

16.3 ETAPA III: Zkušební odliv vybraného anhydritového potěru

V poslední etapě experimentální části bylo provedeno vizuální zhodnocení dlaždic vylitých z tekutého potěru. Na obr. 19 a 20 jsou zobrazeny směsi po vylití.



Obr.19: Směs 1-510P+Agitan P 801



Obr.20: Směs 2-510P

V čerstvých směsích jsme mohli pozorovat vzduchové bublinky, které byly do potěru vneseny během míchání. U směsi 1 se nejprve na povrchu tvořilo více bublinek, po čase však tato tvorba ustala, zatímco u směsi 2 k tomuto jevu docházelo déle. U obou směsí byly bublinky na povrchu průběžně uvolňovány lehkým rozvlněním směsi.

Na zatvrdlých anhydritových potěrech byl pozorován vznik sintrové vrstvy, která je zachycena na obr.21 až 24.



Obr.21: Směs 1-sintrová vrstva



Obr.22: Směs 2-sintrová vrstva



Obr.23: Směs 1-seškrábnutí



Obr.24: Směs 2-seškrábnutí

Přítomnost sintrové vrstvy byla znatelnější u směsi 1 s použitím odpěňovací přísady. Šlem byl souvislejší a silnější než u vzorku bez přítomnosti této přísady. Vznik pozorovatelnějšího sintru byl pravděpodobně zapříčiněn kombinací chemického složení odpěňovací přísady a směsného budiče.

Pozorování rozřízých dlaždic je zobrazeno na fotografiích viz obr. 24 a 25.



Obr. 24: Směs 1-řez



Obr. 25: Směs 2-řez

V řezu pozorovaného potěru jsme mohli vidět, že nedocházelo k sedimentaci kameniva, to bylo rovnoměrně rozprostřeno v celém objemu směsi.

17 DISKUZE

V experimentální části této práce byl posuzován vliv plastifikačních přísad na anhydritové maltoviny. Bylo postupováno podle výše uvedené metodiky a pracovních postupů. Porovnávány byly plastifikátory řady ViscoCrete (225P, 510P a 520P) s referenčními vzorky a s plastifikátorem řady Melment.(F17G). Zkoušky byly prováděny na přírodním anhydritu těženém v Polsku.

V první etapě experimentu byl pozorován vliv plastifikačních přísad na anhydritových pastách. Se zvyšováním dávky plastifikačních přísad docházelo pravidelně ke snižování potřebné záměsové vody, a tedy ke snižování hodnoty vodního součinitele. Nejvyšší redukce vodního součinitele byla pozorována u vzorků s přidavkem plastifikačních přísad v množství 0,6 % z hmotnosti pojiva. U plastifikátoru 520P byla dávka potřebné vody snížena o 29,39 %. U všech plastifikátorů řady ViscoCrete (225P, 510P, 520P) v dávkách 0,3 % a 0,6 % bylo množství vody redukováno o minimálně 25 %, lze je tedy v tomto případě označit jako přísady superplastifikační. Dalším pozorovaným jevem v závislosti na zvyšující se dávce plastifikátorů byla významná retardace tuhnutí past. Co se týče srovnávací přísady řady Melment (F17G), ta snížila potřebné množství vody o 14,47 % v dávce 0,3 %, v dávce 0,6 % pak o 16,32 %. Vzhledem k tomu, že minimální hodnota redukce vodního součinitele pro superplastifikační přísady je 12 %, i F17G spadá do této skupiny. V této etapě bylo dávkování zkoušených přísad v množství 0,6 % z hmotnosti pojiva označeno jako nedostatečně efektivní a ekonomicky nevýhodné a z dalších etap experimentu bylo vyřazeno. Důvodem pro tento závěr je skutečnost, že při zdvojnásobení dávky přísad byly výsledné redukce potřebné vody v průměru pouze o 2 %.

Druhá etapa se věnovala anhydritovým maltám a byla rozdělena do tří částí. V první části byly míchaný malty s konstantním množstvím vody 225 ml. Plastifikátory byly zkoušeny v dávce 0,1 a 0,3 %. V dávce 0,1 % docházelo u směsí s 225P a 520P k průměrnému zvýšení hodnoty rozlití o 55,5 %, u F17G bylo toto zvýšení 18,8 %. Směsi míchané v této části práce byly nadměrně tekuté a u vzorků modifikovaných plastifikátory ViscoCrete docházelo k odměšování vody v čerstvé směsi. Z tohoto důvodu docházelo u zmiňovaných vzorků ke snižování výsledných pevností v tlaku po 28 dnech, a to až o 39,6 %.

Ve druhé části této etapy byl vodní součinitel za přídavku plastifikačních přísad upraven tak, aby konzistence čerstvých směsí vždy odpovídala hodnotě setřeseného rozlivu (150 ± 5) mm. U plastifikátorů řady ViscoCrete v dávce 0,1 % docházelo k redukci vodního součinitele přibližně o 13,3 % v porovnání s referenční směsí, v dávce 0,3 % byla tato redukce 34,5 %. U vzorků modifikovaných F17G docházelo opět k nejmenší redukci potřebné vody, v dávce 0,1 % došlo ke snížení o 6,3 %, v dávce 0,3 % o 16,2. Se zvyšováním dávky plastifikačních přísad i zde docházelo k pravidelnému zvyšování pevností. Nejvyšší pevnosti v dávce 0,1 % byly zjištěny u přísady F17G, pevnosti v tlaku po 28 dnech se zde zvýšily o 39,5 %. V dávce 0,3 % se nejúčinněji projevila přísada 510P, která způsobila nárůst pevností o 51,5 % oproti retenčním vzorkům.

V poslední části této etapy byly připravovány tekuté anhydritové malty tak, aby byla jejich hodnota rozlití (230 ± 5) mm. Plastifikační přísady byly přidávány pouze v dávce 0,3 % z hmotnosti pojiva. Nejnižší pevnost v tlaku 16,4 MPa byla pozorována u vzorku s F17G, při vodním součiniteli 0,321. Nejvyšší nárůst pevnosti o 12,8 % nastal u vzorku s 510P při současném snížení vodního součinitele o 25,2 %.

Ve *třetí etapě* bylo provedeno vizuální zhodnocení potěru vylitého do dlaždic. Byl pozorován rozdíl mezi směsí s plastifikační přísadou a směsí, která navíc obsahovala přísadu odpěňovací. U těchto vzorků nedocházelo k sedimentaci kameniva, to bylo rovnoměrně rozprostřeno v obou pozorovaných potěrech. U vzorku s odpěňovací přísadou se vytvořila souvislejší a silnější sintrová vrstva než u směsi bez odpěňovače a zároveň zde bylo pozorováno menší množství viditelných pórů.

18 ZÁVĚR

Dle zadání se tato práce zabývala vlivem modifikujících přísad na dosahované vlastnosti anhydritových maltovin. Pro účely experimentální části byly vybrány 3 plastifikační přísady dodané firmou Sika. Jednalo se o řadu ViscoCrete na bázi modifikovaných polykarboxylátů, konkrétně pak o plastifikátory s obchodním označením 225P, 510P a 520P. Vliv těchto plastifikačních přísad, které jsou výrobcem doporučovány pro pojiva na bázi síranu vápenatého byl hodnocen převážně na základě dosahovaných technologických vlastností. Tyto vlastnosti byly porovnávány s nemodifikovanou referenční směsí, a dále se srovnávacím vzorkem, u kterého byla použita plastifikační přísada Melment F17G. Příklad F17G byla v dřívějších pracích vyhodnocena jako nejvhodnější plastifikátor na bázi melaminu od firmy BASF.

Všechny přísady firmy Sika měly dobrý plastifikační účinek. V části experimentu, kdy bylo ztekucení zkoušeno na anhydritových pastách, se plastifikační účinek nejlépe projevil u vzorků s přísadami dávkovanými v množství 3 % z hmotnosti pojiva. Při tomto dávkování docházelo průměrně ke ztekucení jen o 2 % menšímu než při dvojnásobné 0,6% dávce. Při přípravě normových malt s konstantní hodnotou setřeseného rozlité (150 ± 5) mm docházelo v dávce 0,3 % ke snížení vodního součinitele o 18,3 % většímu než při použití přísady Melment. Při srovnání pevnosti v tlaku po 28 dnech nebyl rozdíl mezi těmito přísadami tak markantní. Nevyšších pevností zde dosahovala přísada 510P, v porovnání s F17G byl však nárůst pevností pouze o 5 % vyšší.

Pro další výzkum dané problematiky by bylo vhodné se i nadále zabývat plastifikačními přísadami pro pojiva na bázi síranu vápenatého, přičemž by bylo žádoucí do zkoušených směsí kombinovat i další modifikující přísady, jako například odpeňovací či antisegregační. Doprovodným jevem tuhnutí anhydritových maltovin je vznik sintrové vrstvy na povrchu směsi, ta by měla být předmětem detailního zkoumání.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FRIDRICHOVÁ, Marcela, Karel DVOŘÁK, Dominik GAZDIČ a Iveta HÁJKOVÁ. *Maltoviny M02*. 1. vyd. V Brně: Vysoké učení technické v Brně, 2014, 133 s. ISBN 978-80-214-4973-2
- [2] SCHULZE, W., TISCHER, W., ETTEL, W, LACH, V., *Necementové malty a betony*, SNTL, Praha 1990
- [3] VAVŘÍN, F., *Maltoviny*. 3. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1987, 253 s.
- [4] SVOBODA, Luboš, Zdenka BAŽANTOVÁ, Milan MYŠKA a Jaroslav NOVÁK. *Stavební hmoty* [online]. Praha, 2013 [cit. 2016-11-28]. ISBN 978-80-260-4972-2. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodah/sh/SH3v1.pdf>
- [5] Profil společnosti. *Gypstrend s.r.o. sádrovcové doly* [online]. [cit. 2016-13-9]. Dostupné z: <http://www.gypstrend.cz/?clanek=1>
- [6] Sádrovec – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. *Ložiska nerud* [online]. [cit.2016-11-30]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/nerudy/s%C3%A1drovec.html>
- [7] Pregips. *Precheza* [online]. [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: http://www.precheza.cz/root/ke-stazeni/TSD/pregips_cz_print.pdf
- [8] Podniková informace. *Fosfa a.s.*, 2013
- [9] CESNIENE, J., *Influence of phosphatic impurities on the anhydrite binding material of phosphogypsum*, Lithuanian Energy Institute, April, 2007, Pages 153 – 160
- [10] Energosádrovec. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2016-11-31]. Dostupné z: <http://www.cezep.cz/energosadrovec.html?id=124>
- [11] Odsiřování spalin v elektrárnách skupiny ČEZ. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/file/investori/odsirovani.pdf>
- [12] HEMERKA, Jiří a Pavel VYBÍRAL. *Ochrana ovzduší*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2010, 148 s. ISBN 978-80-01-04646-3.
- [13] Odsíření. *Slavex industrial filters*. [online]. [cit. 2016-11-18]. Dostupné z:

<http://www.slavex.cz/odsireni.html>

- [14] Suché metody odsiřování. *Tenza*. [online]. [cit. 2016-11-15]. Dostupné z:
<http://www.tenza.cz/cz/aktivity/energetika/technologie/zarizeni-pro-cisteni-spalin/suche-metody-odsirovani/>
- [15] Polosuché odsiřovací zařízení s rozprašováním suspenze. *Tenza*. [online]. [cit. 2016-11-15]. Dostupné z:
<http://www.tenza.cz/cz/aktivity/energetika/technologie/zarizeni-pro-cisteni-spalin/polosuche-odsirovaci-zarizeni-s-rozprasovanim-suspenze/>
- [16] Mokrý vápencová vypírka. *Tenza*. [online]. [cit. 2016-11-15]. Dostupné z:
<http://www.tenza.cz/cz/aktivity/energetika/technologie/zarizeni-pro-cisteni-spalin/mokra-vapencova-vypirka/>
- [17] OKAMOTO, Takuya; NAGAYASU, Tatsuto; NAKAMURA, Satoshi. *Flue gas desulfurization*. U.S. Patent No 9,115,895, 2015.
- [18] WU, Weize, et al. Desulfurization of flue gas: SO₂ absorption by an ionic liquid. *Angewandte Chemie International Edition*, 2004, 43.18: 2415-2417.
- [19] Mokrý vápencová vypírka. *CEZ* [online]. [cit. 2015-10-28]. Dostupné z:
http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/vypirka_5.html
- [20] GAZDIČ, D., *Výzkum a vývoj síranových pojiv na bázi anhydritu : disertační práce*. Brno, 2010. 159 s. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav stavebních hmot a dílců. Vedoucí disertační práce prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.
- [21] SCHULZE, W., *Necementové malty a betony*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990, 271 s.
- [22] BISHOP, J. L., LANE M. D., et al Properties of Ca-sulfates: Gypsum, Bassanite and Anhydrite, *American Mineralogist*, September, 2013
- [23] HUDSON-LAMB, D. L.; STRYDOM, C. A.; POTGIETER, J. H. The thermal dehydration of natural gypsum and pure calcium sulphate dihydrate (gypsum). *Thermochimica Acta*, 1996, 282: 483-492.

- [24] PIRONON, J., DUBESSY, J. et al., *Dehydration of gypsum under dry CO₂ injection*, Energy Procedia 37 2013, Pages 4575 – 4582
- [25] SIEVERT, T., A. WOLTER and N.B. SINGH. *Hydration of anhydrite of gypsum (CaSO₄.II) in a ball mill*, Cement and concrete research, February, 2004, Pages 623 – 630
- [26] BÁRTA, R., *Technologie silikátů* (Sborník výzkumných prací III), SNTL, Praha, 1957
- [27] PYTLÍK, P. *Technologie betonu*, 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 2000, 389 s. ISBN 80-214-1647-5.
- [28] Přísady do betonů a malt III. *mct* [online]. [cit. 2015-12-20]. Dostupné z: <http://www.mct.cz/soubor/prisady-do-betonu-iii/>
- [29] Anhydrite. *Handbook of Mineralogy* [online]. [cit. 2015-11-10]. Dostupné z: <http://www.handbookofmineralogy.com/pdfs/anhydrite.pdf>
- [30] BIBORA, P. Energosádrovec, anhydrit a možnosti jejich využití. *Odpadové fórum*. Duben, 2010. str.27
- [31] PÍCEK, J. Pojiva na bázi síranu vápenatého a jejich použití u TBG Pražské malty. *Materiály pro stavbu*. Květen, 2011. str.60-61
- [32] Realizace anhydritové podlahy krok za krokem. *Anhydritové podlahy*. [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.anhydritovepodlahy.eu/realizace-anhydritove-podlahy>
- [33] Výhody anhydritové podlahy. *Anhydritové podlahy*. [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.anhydritovepodlahy.eu/vyhody-anhydritove-podlahy>
- [34] AnhyLevel – technologický předpis. *CEMEX* [online]. [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: http://www.specialni-produkty.cz/Anhylevel_technologicky_predpis.html
- [35] MFC Anhydrit-technické listy. *Morfico*. [online]. [cit. 2016-12-02]. http://www.morfico.cz/cs/f/morfico_cs/p/%C4%8Cerstv%C3%A9%20tekut%C3%A9%20pot%C4%B9y/CS/Technick%C3%A9%20listy/TL_MFC_Anhydrit_020_025_030_cz.pdf

- [36] ČSN EN 13813. *Potěrové materiály a podlahové potěry – Potěrové materiály – Vlastnosti a požadavky*. Praha: ČNI, 2003
- [37] ČSN EN 13454-1. *Pojiva, kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi pro podlahové potěry ze síranu vápenatého – Část 1: Definice a požadavky*. Praha: ČNI, 2005
- [38] ČSN EN 13454-2+A1. *Pojiva, kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi pro podlahové potěry ze síranu vápenatého – Část 2: Zkušební metody*. Praha: ČNI, 2008
- [39] ČSN EN 13892-1. *Zkušební metody potěrových materiálů – Část 1: Odběr vzorků, zhotovení a ošetřování zkušebních těles*. Praha: ČNI, 2003